



Topografía y levantamiento de mapa geotécnico del deslizamiento. Estudio de características superficiales del sitio. Investigación de campo.

Acosta Monje, Karen Denisse y Guallasamin Salazar, Richard Nicolás

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bonifaz García, Hugo Fabián Mgs.

10 de septiembre del 2021



Document Information

Analyzed document	Acosta_Guallasamin.pdf (D112240730)
Submitted	9/8/2021 4:29:00 PM
Submitted by	
Submitter email	biblioteca@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	ilbbiblioteca.GDC@analysis.urkund.com

Firma:

HUGO FABIAN
BONIFAZ
GARCIA



Firmado digitalmente
por HUGO FABIAN
BONIFAZ GARCIA
Fecha: 2021.09.10
12:35:01 -05'00'

Ing. Bonifaz García, Hugo Fabián Mgs.

C. C: 060178645



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de integración curricular, “**Topografía y levantamiento de mapa geotécnico del deslizamiento. Estudio de características superficiales del sitio. Investigación de campo**” fue realizado por los señores **Acosta Monje, Karen Denisse y Guallasamín Salazar, Richard Nicolás** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Firma:

HUGO FABIAN
BONIFAZ
GARCIA

Firmado digitalmente
por HUGO FABIAN
BONIFAZ GARCIA
Fecha: 2021.09.10
12:35:01 -05'00'

Ing. Bonifaz García, Hugo Fabián Mgs.

C. C: 060178645



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Acosta Monje, Karen Denisse**, con cédula de ciudadanía n° 0550116487 y **Guallasamin Salazar, Richard Nicolas**, con cédula de ciudadanía n° 1723155451 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Topografía y levantamiento de mapa geotécnico del deslizamiento. Estudio de características superficiales del sitio. Investigación de campo** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Firma

Acosta Monje, Karen Denisse

C.C.: 0550116487

Firma

Guallasamin Salazar, Richard Nicolas

C.C.: 1723155451



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Acosta Monje, Karen Denisse**, con cédula de ciudadanía n° 0550116487 y **Guallasamin Salazar, Richard Nicolas**, con cédula de ciudadanía n° 1723155451, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Topografía y levantamiento de mapa geotécnico del deslizamiento. Estudio de características superficiales del sitio. Investigación de campo**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Firma

Acosta Monje, Karen Denisse

C.C.: 0550116487

Firma

Guallasamin Salazar, Richard Nicolas

C.C.: 1723155451

DEDICATORIA

Dedico este logro alcanzado a mi madre Marlene, por ser mi guía y motivación día con día, por la confianza entregada a mi persona y siempre estar presente; por recordarme que se debe luchar para cumplir los sueños recordándome que aquellos desvelos, frustración, llantos, valen la pena, porque gracias a su confianza y amor es que he llegado tan lejos.

A mi padre Patricio, por saber educarme con valores, y apoyarme en cada decisión que he tomado, porque sin su protección y cariño nada sería igual.

A mis hermanas Pamela y Allison, por ser mis amigas y confidentes, por ser mis cómplices desde mi primer día que estuvieron en este mundo.

A mis amigos, compañeros y todas las personas que fueron parte de mi formación profesional por ser un pilar clave en mi vida universitaria, llenándola de felicidad, aventura, cariño y confianza; motivándome a seguir adelante y hacerme saber que no estaba sola convirtiéndose en mi segunda familia.

Acosta Monje, Karen Denisse

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por darme su amor, apoyo, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en una persona de bien. Tengo la dicha, el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mi abuelita Mami Malaco por criarme como un hijo y siempre brindarme su amor.

A toda mi familia por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Guallasamín Salazar, Richard Nicolás

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser la guía en cada paso a lo largo de mi vida y ser luz a largo de una de las etapas más importantes y memorables como fue los años de formación profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por haber sido el lugar en donde pase una de las mejores etapas de mi vida, por haberme abierto sus puertas y permitir ser parte de ella.

Al Ing. Hugo Bonifaz Mgs. por ser el guía en la elaboración de esta investigación y siempre estar al pendiente de cada una de las interrogantes y dudas encontradas a lo largo de este, el último escalón de nuestra vida universitaria.

A los docentes de la carrera de Ingeniería de Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por ser parte del proceso de aprendizaje y crecimiento, impartiendo con paciencia y dedicación todo el conocimiento que hoy en día poseemos.

Finalmente, agradezco a todos mis amigos que estuvieron en todo momento haciendo que este proceso de formación fuera más llevadero, siempre agregando felicidad y complicidad en todo momento.

Acosta Morje, Karen Denise

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, por guiarme y ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: María Mercedes y Segundo Pascual, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a todos los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que fueron parte de mi formación académica y profesional, gracias por generar más seres humanos que contribuyan al mejoramiento de nuestra sociedad.

Guallasamín Salazar, Richard Nicolás

Índice de Contenido

Portada.....	1
Urkund.....	2
CERTIFICACIÓN.....	3
DEDICATORIA.....	6
DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTO	8
AGRADECIMIENTO	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	16
ÍNDICE DE FIGURAS.....	17
RESUMEN.....	21
ABSTRACT	22
CAPITULO I GENERALIDADES.....	23
Antecedentes	23
Antecedentes geográficos.....	24
Antecedentes históricos	25
Aspectos demográficos.....	26
Ubicación general del proyecto.....	26
Objetivos.....	27
Objetivo General.....	27

Objetivos específicos.....	27
Alcances	27
Justificación e importancia.....	27
CAPITULO II MARCO TEÓRICOS	29
Deslizamientos	29
Partes de un deslizamiento.....	30
Evaluación de un deslizamiento	32
Topografía	33
División básica de la topografía	34
Levantamientos Topográficos	34
Topografía con Drones.....	35
Funcionamiento de los Drones.....	36
Usos más comunes de los Drones en la Topografía.....	37
Ventajas del levantamiento topográfico con drones.....	38
Geotecnia	39
Exploración y Muestreo del Suelo.....	39
Muestras Alteradas.....	40
Muestras Inalteradas.	40
Perfiles del subsuelo	40
Mapas geotécnicos.....	41

Tipos de Mapas.	42
Contenido de los Mapas Geotécnicos.....	44
Obtención de Información.....	45
Geofísica	46
Geofísica de Refracción	48
Fundamento del Método.....	48
Etapas de la Prospección Sísmica por Refracción.	51
Profundidad de Penetración y Resolución.	52
Clasificación del Suelo.....	52
Aplicaciones del Método de Prospección por Refracción.....	54
Geofísica de resistividad	54
Aplicaciones del Método de Resistividad Eléctrica.....	57
Valores Representativos de la Resistividad.....	58
Limitaciones del Método de Resistividad Eléctrica.	58
Configuración de Electroodos.	60
Configuración Schlumberger.....	60
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	61
Evaluación del deslizamiento.....	61
Topografía del deslizamiento.....	61
Levantamiento topográfico con drones.....	61

Las etapas para la obtención del producto topográfico.....	62
Ubicación de la zona de estudio.....	62
Puntos de Control.....	63
Medición de los puntos de control.....	64
Vuelo del Dron (Registro fotográfico).....	67
Procesamiento de imágenes y datos en Pix4D.....	69
Generación de Topografía.....	74
Planimetría.....	74
Altimetría.....	75
Muestreo del suelo.....	77
Muestreo en frentes abiertos.....	79
Muestras Alteradas.....	79
Muestras inalteradas.....	81
Manejo de Muestras.....	81
Perfiles del Suelo.....	82
Mapa Geotécnico.....	83
Descripción del área en estudio.....	83
Recolección de información para la elaboración del mapa.....	84
Geofísica.....	84
Geofísica de refracción.....	84

Equipos, Instrumentos y Dispositivos.....	84
Procedimiento.....	86
Adquisición de Datos en Campo.....	88
Procesamiento de Datos.....	88
Método Activo.....	92
Estratigrafía.....	102
Geofísica de resistividad.....	105
Dispositivos, Equipos y Materiales.....	105
Adquisición de Datos en Campo.....	108
Procesamiento de Datos.....	110
CAPITULO IV RESULTADOS.....	111
Elementos relevantes del deslizamiento.....	111
Escarpes.....	111
Grietas.....	113
Pie del deslizamiento.....	116
Elementos hídricos.....	116
Afloramientos de agua.....	116
Corrientes de agua.....	118
Elementos Antrópicos.....	119
Vías.....	119

Casas.....	119
Zanjas	120
Piscinas de Oxidación	121
Drenaje de Alcantarillas	122
Topografía del deslizamiento.....	122
Informe de Calidad	124
Perfiles del suelo.....	125
Mapa geotécnico.....	128
Geofísica de refracción	129
Velocidades de onda Vs30.....	129
Estratigrafía	129
Geofísica de resistividad.....	130
Interpretación de la línea 1	131
Interpretación de la línea 2.....	132
Recolección de información a testigos del deslizamiento.....	133
CAPITULO V DISCUSIÓN	135
Conclusiones.....	135
Recomendaciones	137
REFERENCIAS	139
ANEXOS	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación de los mapas geotécnicos</i>	43
Tabla 2 <i>Clasificación de mapas geotécnicos según su escala</i>	44
Tabla 3 <i>Métodos para la obtención de datos</i>	45
Tabla 4 <i>Ventajas y desventajas de la aplicación de la geofísica</i>	47
Tabla 5 <i>Rango de velocidades para ondas de compresión en el suelo y roca</i> .	53
Tabla 6 <i>Tipos de suelo según la NEC-15</i>	53
Tabla 7 <i>Valores representativos de la resistividad</i>	58
Tabla 8 <i>Coordenadas de Puntos de Control</i>	65
Tabla 9 <i>Coordenadas de Puntos de Muestreo</i>	78
Tabla 10 <i>Equipos utilizados en la Sísmica de Refracción</i>	85
Tabla 11 <i>Coordenadas de Geófonos y golpes – Línea 1</i>	90
Tabla 12 <i>Coordenadas de Geófonos y golpes – Línea 2</i>	91
Tabla 13 <i>Velocidad Vs 30 – Método Activo</i>	96
Tabla 14 <i>Velocidad calculada Vs 30 – Método Activo</i>	99
Tabla 15 <i>Equipos utilizados en la Resistividad Eléctrica</i>	106
Tabla 16 <i>Coordenadas de los Afloramientos de Agua</i>	117
Tabla 17 <i>Coordenadas de Piscinas de Oxidación</i>	121
Tabla 18 <i>Resumen de control de calidad</i>	124
Tabla 19 <i>Clasificación del Suelo según Vs – NEC15</i>	129
Tabla 20 <i>Clasificación del Suelo según Vp – ASTM D 5777</i>	130
Tabla 21 <i>Modelo Invertido de la Resistividad, línea 1</i>	131
Tabla 22 <i>Modelo Invertido de la Resistividad, línea 2</i>	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mapa de Ubicación de la zona del deslizamiento.....</i>	24
Figura 2 <i>Ubicación General del deslizamiento – Chunchi</i>	26
Figura 3 <i>Nomenclatura de las partes que conforman un deslizamiento</i>	30
Figura 4 <i>Propagación de las Ondas Primarias (P) y Secundarias (S)</i>	49
Figura 5 <i>Representación de las velocidades sísmicas en corte.....</i>	51
Figura 6 <i>Mecanismo del Método de resistividad.....</i>	56
Figura 7 <i>Configuración de electrodos del método Schlumberger.....</i>	60
Figura 8 <i>Vista General del área del levantamiento topográfico.....</i>	62
Figura 9 <i>Puntos de Control en el terreno</i>	63
Figura 10 <i>Colocación de paineles en los puntos de control</i>	64
Figura 11 <i>Receptor fijo.....</i>	66
Figura 12 <i>Receptor Móvil.....</i>	67
Figura 13 <i>Puntos donde se realizaron los vuelos</i>	67
Figura 14 <i>Área que cubre cada uno de los vuelos.....</i>	68
Figura 15 <i>Dron Phantom 4 Pro.....</i>	68
Figura 16 <i>Ventana de cargado fotográfico de Pix4D</i>	69
Figura 17 <i>Vista general de las fotografías en Pix4D.....</i>	70
Figura 18 <i>Resultados del proceso inicial.....</i>	71
Figura 19 <i>Emparejamiento y rectificación de los puntos de control</i>	72
Figura 20 <i>Ortofoto de la zona del deslizamiento.....</i>	73
Figura 21 <i>Ortofoto en Civil3D</i>	75
Figura 22 <i>Cargado de la ortofoto en Global Mapper.....</i>	76

Figura 23	<i>Superficie digital del deslizamiento</i>	77
Figura 24	<i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	78
Figura 25	<i>Perfil del talud muestreado - Talud 1</i>	79
Figura 26	<i>Perfil del talud muestreado - Talud 2</i>	80
Figura 27	<i>Perfil del talud muestreado - Talud 3</i>	81
Figura 28	<i>Recolección de muestras</i>	82
Figura 29	<i>Elaboración de perfiles en campo</i>	83
Figura 30	<i>Esquema del equipo de adquisición de datos en campo</i>	85
Figura 31	<i>Procedimiento de la Sísmica de Refracción</i>	87
Figura 32	<i>Ondas generadas - Sísmica de refracción: Línea 1</i>	89
Figura 33	<i>Ondas generadas - Sísmica de refracción: Línea 2</i>	89
Figura 34	<i>Corrección de canales</i>	91
Figura 35	<i>Lectura de los datos a utilizar en el programa</i>	93
Figura 36	<i>Posición de geófonos y golpes – Línea 1</i>	93
Figura 37	<i>Posición de geófonos y golpes – Línea 2</i>	94
Figura 38	<i>Transformación de la fase de velocidad-frecuencia</i>	94
Figura 39	<i>Frecuencias y señales del ensayo – Línea 1</i>	95
Figura 40	<i>Frecuencias y señales del ensayo – Línea 2</i>	95
Figura 41	<i>Velocidad Normal de Onda de la Línea 1</i>	97
Figura 42	<i>Velocidad Normal de Onda de la Línea 2</i>	97
Figura 43	<i>Resultado de la inversión de la línea 1</i>	98
Figura 44	<i>Resultado de la inversión de la línea 2</i>	98
Figura 45	<i>Velocidad de Onda calculada – Línea 1</i>	99
Figura 46	<i>Velocidad de Onda calculada – Línea 2</i>	100

Figura 47	<i>Perfil del subsuelo con sus Velocidades de Onda (S) – Línea1</i>	101
Figura 48	<i>Perfil del subsuelo con sus Velocidades de Onda (S) – Línea2</i>	101
Figura 49	<i>Domocrona - Línea 1.....</i>	102
Figura 50	<i>Domocrona - Línea 2.....</i>	103
Figura 51	<i>Tomografía de la Línea 1</i>	103
Figura 52	<i>Tomografía de la Línea 2</i>	104
Figura 53	<i>RMSE – línea 1</i>	104
Figura 54	<i>RMSE – línea 2</i>	105
Figura 55	<i>Tendido de la cinta métrica</i>	108
Figura 56	<i>Colocación de electrodos.....</i>	109
Figura 57	<i>Medición y obtención de datos - resistividad.....</i>	109
Figura 58	<i>Vista panorámica de los escarpes principales.....</i>	111
Figura 59	<i>Diferentes vistas del escarpe principal del flanco derecho</i>	112
Figura 60	<i>Diferentes vistas del escarpe principal del flanco izquierdo.....</i>	112
Figura 61	<i>Escarpe Secundario</i>	113
Figura 62	<i>Grietas en las vías producidas por el deslizamiento</i>	114
Figura 63	<i>Grietas en los terrenos aledaños al deslizamiento.....</i>	114
Figura 64	<i>Grieta en patio de una vivienda</i>	115
Figura 65	<i>Fisuras cerca de la Piscina de Oxidación.....</i>	115
Figura 66	<i>Pie del deslizamiento.....</i>	116
Figura 67	<i>Ubicación de los Afloramientos de Agua</i>	117
Figura 68	<i>Afloramiento de Agua.....</i>	118
Figura 69	<i>Corriente de agua.....</i>	118
Figura 70	<i>Vía destruida y desplazada en dirección al deslizamiento.....</i>	119

Figura 71 <i>Viviendas afectadas por el deslizamiento</i>	120
Figura 72 <i>Zanja ubicada en el flanco derecho</i>	120
Figura 73 <i>Piscinas de Oxidación</i>	121
Figura 74 <i>Tubería de Aguas servidas</i>	122
Figura 75 <i>Mapa topográfico</i>	123
Figura 76 <i>Perfil del Talud 1</i>	125
Figura 77 <i>Perfil del Talud 2</i>	126
Figura 78 <i>Perfil del Talud 3</i>	127
Figura 79 <i>Resultado de la resistividad - Línea 1</i>	131

RESUMEN

La presente investigación realizó los estudios para la evaluación del deslizamiento que se produjo en febrero del 2021 en el cantón Chunchi, provincia de Chimborazo, en el cual se obtuvo la topografía de la zona realizada mediante vuelos de un dron y con el método RTK para la toma de los puntos de control, el área levantada fue de 238,54 ha y el área del deslizamiento fue de 210,23 ha con una escala de 1:2500. A partir de la topografía, con las distintas visitas a campo y ensayos de laboratorio, se realizó la elaboración de un mapa geotécnico el cual tiene como fin mostrar las características geológicas y geotécnicas de la zona del deslizamiento, así como representar el movimiento de tierras. Además, mostrar elementos importantes de la zona entre ellos, grietas, zonas de afloramientos de agua, vías, casas, etc. Para obtener una mayor información de la situación actual del deslizamiento se realizó ensayos no destructivos, como los ensayos de geofísica de refracción y resistividad eléctrica; los cuales ayudan a la caracterización del subsuelo, en sus diferentes capas, así como el nivel de saturación del suelo. Toda la información recolectada en el presente trabajo es con el objetivo de realizar una evaluación del deslizamiento, así como también ayudará a tomar decisiones para precautelar la seguridad de los pobladores de Chunchi. El presente documento servirá de apoyo para dar continuidad a futuros trabajos de investigación sobre los deslizamientos en la zona ya que en este lugar se ha encontrado que existe mucha susceptibilidad a deslizamientos por el tipo de suelo y agentes varios.

PALABRAS CLAVES

- **DESLIZAMIENTO**
- **CHUNCHI**
- **GEOTECNIA**
- **GEOFÍSICA**

ABSTRACT

The present research carried out the studies for the evaluation of the landslide that occurred in February 2021 in the Chunchi canton, Chimborazo province, in which the topography of the area was obtained by drone flights and with the RTK method for taking checkpoints. The surveyed area was 238.54 ha, and the landslide area was 210.23 ha with a scale of 1: 2500. A geotechnical map was made from the topography, with the different field visits and laboratory tests, which aims to show the geological and geotechnical characteristics of the landslide zone, as well as to represent the earthworks. In addition, the map allows showing essentials elements of the area among them, cracks, areas of outcrops of water, roads, houses, etc. To obtain more information on the current situation of the landslide, non-destructive tests were carried out, such as refraction geophysics and electrical resistivity tests; which help to characterize the subsoil, in its different layers, as well as the level of soil saturation. All the data collected is intended not only to carry out an evaluation of the landslide but also to set a precedent for making decisions that seek to protect the safety of the Chunchi residents. This document will serve as support to give continuity to future research work on landslides in the area since it has been found that there is a lot of susceptibility to landslides due to the type of soil and various agents.

KEY WORDS

- **LANDSLIDE**
- **CHUNCHI**
- **GEOTECHNICS**
- **GEOPHYSICS**

CAPITULO I

GENERALIDADES

Antecedentes

Por efectos de las lluvias en las zonas previamente afectadas por un deslizamiento, la infiltración de agua en el terreno y la presión de poros en el suelo ocasionaron un deslizamiento de tipo flujo de lodos el cual inicia desde la altura de la piscina de oxidación hasta el cauce del río Picay provocando el represamiento de este, provocando la rotura del dique natural el cual produjo un aluvión (alud) que se desplazó por el cauce del río en mención aguas abajo hasta alcanzar el cauce del río Chanchán afectando infraestructura cercana (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2021).

El SNGRE realizó inspecciones técnicas en la zona del deslizamiento analizando la magnitud y alcance del mismo. Se coordinó con las instituciones técnicas IGM e INAMHI para el levantamiento de información con equipos especializados: ortofotos, modelos digitales de terreno y datos de estaciones hidrológicas (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2021).

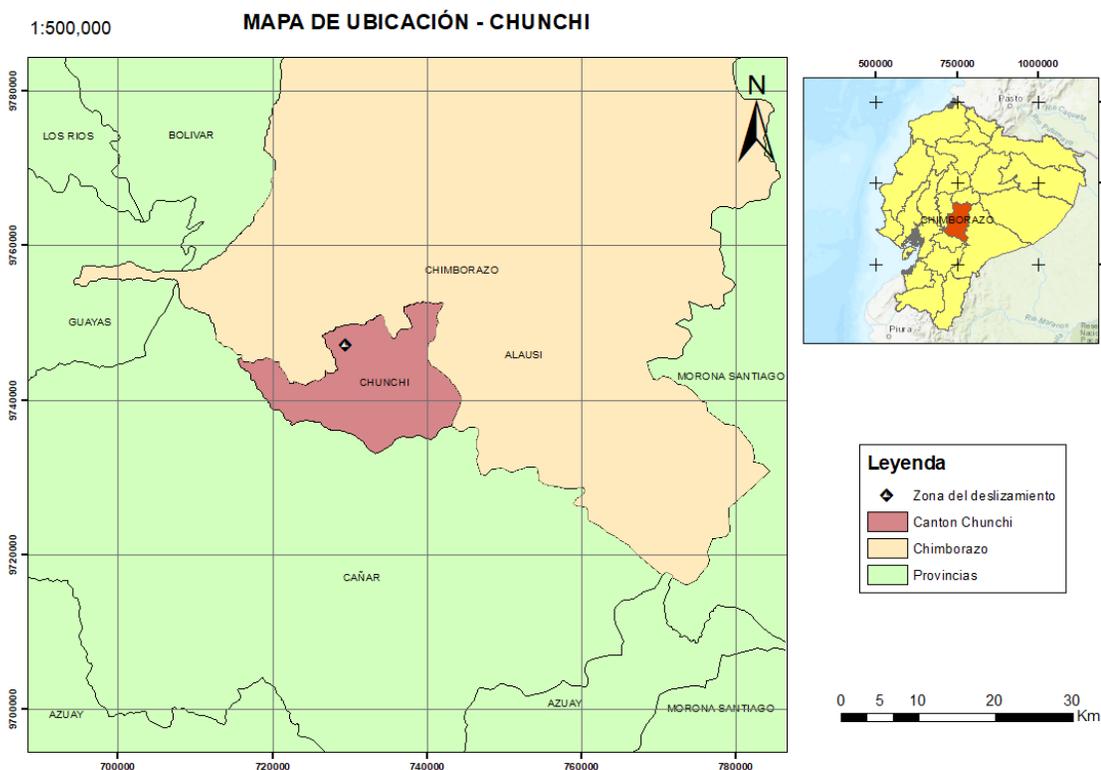
Un equipo técnico del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), realizó estudios de movimientos de masa en la zona del deslizamiento. Los trabajos geológicos realizados identificaron áreas potencialmente inestables que pudieran ocasionar movimientos en masa y afectar la seguridad de la población e infraestructura en los sectores Armenia y Cullpa (IIGE, 2021).

Antecedentes geográficos

La zona en donde actualmente se encuentra el cantón Chunchi empezó a ser habitada por tribus de procedencia Cañari, desplazadas por la Conquista Incásica dirigida por el inca cusqueño, Tupac Yupanqui. La organización social estaba conformada por un sistema jerárquico en el cual el líder máximo de estos grupos humanos estaba representado por el hombre más anciano y diestro en el arte de la guerra, debido a que era un pueblo que vivía en constantes conflictos guerreros con sus vecinos (Gobierno Autónomo Descentralizado de Chunchi, 2015).

Figura 1

Mapa de Ubicación de la zona del deslizamiento



Chunchi es un cantón de la provincia de Chimborazo, ubicado en el extremo sur de la misma; se encuentra a 125 km de Riobamba, esta zona se caracteriza por su ubicación geográfica estratégica, pues se encuentra en el centro del país. En cuanto a los límites geográficos, la estructura política del cantón Chunchi está limitada al Norte, Este y Oeste con el cantón Alausí y al Sur con la provincia de Cañar (Sistema Nacional de Información, 2013).

El cantón Chunchi cuenta con cuatro parroquias rurales: Compud, Capzol, Llagos y Gonzol. La cabecera cantonal es Chunchi.

Su altitud oscila entre los 1500 (sector de Chanchán) hasta los 4427 m.s.n.m. (páramos de Launag sector Quilloloma). La parroquia matriz, Chunchi, posee como altura promedio 2272 metros sobre el nivel del mar (Gobierno Autónomo Descentralizado de Chunchi, 2015).

El cantón Chunchi posee dos regiones: templada fría y templada subtropical. Por lo tanto, el clima de la zona va desde el subtrópico hasta el frío de los páramos. La diferencia de cotas que posee hace de un lugar rico en la diversidad de temperaturas y microclimas que favorece la existencia una variedad de fauna y flora en el Cantón. Posee una temperatura que varía entre 14°C y 21°C (Gobierno Autónomo Descentralizado de Chunchi, 2015).

Antecedentes históricos

La cantonización de Chunchi fue gestionada en el año 1944, en el gobierno de José María Velasco Ibarra, por una comisión de notables locales: Francisco Tamariz Palacios, Miguel León Bermeo Pinos, Bolívar Chiriboga Toledo, Celso Bermeo Pinos, Rafael Layedra, entre otros. La petición de cantonización, fue dirigida por el Señor Joel

Efraín Trujillo en nombre de los moradores chuncheños, al presidente de la República (Gobierno Autónomo Descentralizado de Chunchi, 2015).

Aspectos demográficos

La distribución poblacional del Cantón Chunchi es de manera indistinta en los diferentes sectores del mismo; en unas zonas más pobladas que en otras, típico de la dinámica demográfica poblacional rural de la región Andina del Ecuador. Una de las características evidentes en el cantón Chunchi es la migración hacia la cabecera cantonal, este comportamiento se debe en su mayoría para acceder a una mejor educación y a la búsqueda de mejores servicios.

Ubicación general del proyecto

La zona en la que se realizó los estudios de campo y levantamiento de información del sitio del deslizamiento es en el sector la Armenia, en la cabecera cantonal del cantón Chunchi, provincia de Chimborazo.

Figura 2

Ubicación General del deslizamiento – Chunchi



Nota. La imagen muestra el área del deslizamiento junto al poblado de Chunchi. Tomado de (Google Earth, 2020)

Objetivos

Objetivo General

Topografía y levantamiento de mapa geotécnico del deslizamiento. Estudio de características superficiales del sitio. Investigación de campo.

Objetivos específicos

- Recolectar información en campo para la elaboración de mapa topográfico e identificación de elementos relevantes al deslizamiento.
- Caracterización geotécnica de la zona del deslizamiento
- Caracterización geofísica de la zona del deslizamiento.

Alcances

En este estudio se realizará la topografía de la zona con un área de 238,54 ha, a una escala de 1:2500. Así como también se procederá a la elaboración del mapa geotécnico general de la zona y finalmente el estudio de geofísica de refracción y resistividad con la ayuda de muestreos directos en sitios y la recuperación de muestras inalteradas para sus respectivos análisis para poder caracterizar los diferentes tipos de suelo de la zona para su posterior análisis e interpretación.

Justificación e importancia

Lo que busca el presente trabajo es recolectar y procesar toda la información mínima que se requiere después de la ocurrencia de un evento natural catastrófico, como son los deslizamientos. Esta información que se va a obtener ayudará a tomar medidas para evitar, prevenir o mitigar el riesgo inminente que tiene la población de Chunchi ante posibles deslizamientos futuros. Es por tal razón, la importancia de este trabajo de investigación el cual ayudará a precautelar la vida de los ciudadanos, dado

que los deslizamientos tienen afectaciones parciales o totales en todas las actividades humanas, además que el peligro de los deslizamientos invalida las actividades y el uso de tierras.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICOS

Deslizamientos

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año. Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc. (Suárez Díaz, 2009).

Cuando el movimiento descendente del suelo es repentino y rápido, se le llama deslizamiento de tierra. Los depósitos de suelo formados por deslizamientos de tierra son coluviales. Los flujos de lodo son un tipo de suelo transportado por gravedad. En este caso los suelos residuales arenosos sueltos altamente saturados, en pendientes relativamente planas se mueven hacia abajo como un líquido viscoso y vienen a descansar en una condición más densa. Los depósitos de suelo derivados de flujos de lodo son muy heterogéneos en su composición (Das, 2014).

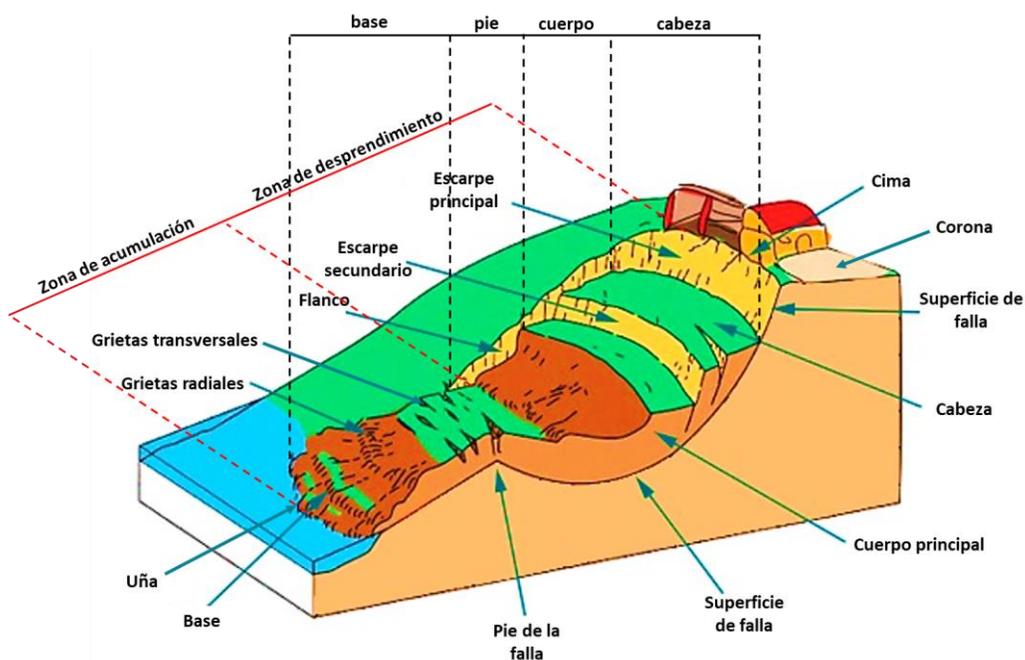
En el informe N.º. SNGRE-IASR-08-2021-020, emitido por Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, menciona que la ocurrencia de los deslizamientos depende de las características condicionantes del terreno y de los eventos disparadores que producen el movimiento de masas en un talud o ladera. Es por ello que se debe realizar una caracterización del deslizamiento de La Armenia y sus zonas susceptibles (SNGRE, 2021).

Partes de un deslizamiento

En la siguiente figura se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa. Las partes principales son:

Figura 3

Nomenclatura de las partes que conforman un deslizamiento



Nota: Recuperada y modificada de (Cerebralia, s.f.)

Cabeza: Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

Cima: El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona: El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

Escarpe principal: Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

Escarpe secundario: Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

Superficie de falla: Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

Pie de la superficie de falla: La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base: Es el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Punta o uña: El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

Cuerpo principal del deslizamiento: El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

Superficie original del terreno: La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Costado o flanco: Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

Derecha e izquierda: Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie (Suárez Díaz, 2009).

Grietas: La mayoría de los suelos poseen muy baja resistencia a la tensión y la generación de esfuerzos relativamente pequeños (especialmente arriba de la cabeza de los taludes y laderas), puede producir grietas de tensión, las cuales facilitan la infiltración de agua y debilitan la estructura de la masa de suelo permitiendo la formación de superficies de falla (Suárez Díaz, 2009).

Evaluación de un deslizamiento

La evaluación de un deslizamiento consiste en obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de su solución o remediación. Para el propósito de la investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad del talud o ladera y caracterizarlos plenamente (Suárez Díaz, 2009).

Según (Suárez Díaz, 2009) los parámetros que recomienda realizar dentro de una evaluación de un deslizamiento deben incluir las siguientes etapas:

- Reconocimiento e identificación del sitio.

- Análisis de la información existente.
- Estudio de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
- Investigación de campo que incluya sondeos, toma de muestras y ensayos “in situ” para cuantificar los parámetros del suelo.
- Investigación de laboratorio.
- Elaboración del modelo conceptual de los mecanismos de las fallas actuales o potenciales.
- Modelación matemática utilizando software.
- Instrumentación y monitoreo.
- Elaboración del plan de manejo y diseño de obras de remediación.

El presente proyecto de investigación se enfocará en los siguientes aspectos como la investigación de campo, toma de muestras de suelo, topografía del deslizamiento, mapa geotécnico y ensayos de geofísica de refracción y resistividad.

Topografía

Cuando ocurre un evento de esta naturaleza como son los deslizamientos es de vital importancia la obtención de la topografía para la identificación de parámetros geométricos como son: alturas, pendientes, curvaturas, largo-ancho, áreas de infiltración arriba de la parte deslizada, entre otros, las cuales pudieron afectar la estabilidad de la montaña. De esta manera nos permite cuantificar la magnitud del deslizamiento, además del movimiento de masa que se produjo.

La topografía es la rama de la geodesia que se encarga de determinar las dimensiones, contornos y diferencias altimétricas de parte de la superficie terrestre,

mediante la medición de ángulos y distancias, lo suficientemente pequeñas de tal manera que se desprecia la influencia de la curvatura terrestre. El sistema de referencia son las coordenadas planas y el sistema de representación es el plano acotado. La topografía procede del griego *topo* (lugar), *grafos* (dibujos) (Abreu L., 2011).

División básica de la topografía

La topografía se puede dividir en dos grandes ramas que son: la planimetría que solo tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que se supone es la superficie media de la tierra y la altimetría que tiene en cuenta las diferencias de niveles existentes en los diferentes puntos de un terreno. Para la elaboración de un plano topográfico propiamente dicho, es necesario conocer estas dos partes de la topografía para poder determinar la posición y elevación de cada punto levantado (Abreu L., 2011).

Levantamientos Topográficos

El levantamiento topográfico se define como generar la topografía de un terreno o zona de interés, es decir, trasladar las características que presenta el terreno como altimetría y planimetría a un plano en dos dimensiones en el que se pueda interpretar con facilidad.

Por medio del levantamiento topográfico, se hace un estudio de la superficie de una zona en particular, en donde se incluye las características naturales del terreno, así como las edificaciones, construcciones o infraestructura del sitio.

Como definición de levantamiento topográfico se entiende que lo que se muestra en los mapas o planos obtenidos, en los cuales se representan todos los elementos existentes en el terreno; mostrando todas las características naturales y las construidas

por el hombre; también se describen las diferencias de altura de los relieves o de los elementos que se encuentran en el sitio o zona donde se realiza el levantamiento (Ferreño Gonzalez, 2016).

En la elaboración de un estudio topográfico de un terreno, sitio o zona, se necesita personal especializado regularmente un topógrafo o un ingeniero civil con su respectivo personal de apoyo de ser el caso de zona extensa, el cual se debe desplazar a dicho terreno con los instrumentos y equipos adecuados para realizar la toma de datos y mediciones. Tras este trabajo de campo, se realizará el análisis, estudio y procesamiento de los datos para la obtención de los resultados, principalmente mapas o planos topográficos (Ferreño Gonzalez, 2016).

Los instrumentos o equipos que usualmente se utilizan para la elaboración de un levantamiento topográfico son:

- Teodolito óptico.
- Teodolito electrónico.
- Distanciómetro.
- Estación semitotal.
- Estación total.
- Drones.

Topografía con Drones

Para entender esta implementación de la tecnología a la topografía es necesario definir un dron. Un dron es como un vehículo que se controla por control remoto, que

para elevarse utiliza la fuerza de giro de sus motores unidos a las hélices. Algunos de los nombres con los que se los conoce son cuadricópteros, sexacópteros u octacópteros, dependiendo de si tiene 4, 6 u 8 hélices (VIU, 2018).

Los drones, son equipos de navegación autónomos que poseen características técnicas particulares para realizar trabajos de todo tipo e índole, se pueden utilizar tanto en el exterior como en el interior de algunos espacios, además se los puede incorporar algunos accesorios para su mayor aprovechamiento como: sensores ópticos, cámaras de video, cámaras fotográficas de espectro visible, infrarrojo, etc. Se pueden desempeñar en diferentes alturas de vuelo tanto como a partir del 1 metro de altura hasta los 500 metros, en vuelos totalmente automáticos programados y controlados de modo remoto o de forma manual mediante un mando de radiocontrol (Ferreira & Aira, 2017).

En la actualidad la implementación de los drones en el campo de la topografía y cartografía se ha vuelto una tendencia que poco a poco se ha ganado un espacio importante dentro del ámbito profesional. Cada vez es más común ver que los profesionales dentro del área topográfica apoyan sus informes en ortofotos, mapas de elevación, nubes de puntos y curvas de nivel capturadas con UAVs y cámaras de alta resolución (Aerial Insights, 2019).

Funcionamiento de los Drones.

El funcionamiento de un dron se lo puede comparar o hacer un símil del funcionamiento de un avión o un helicóptero. Al poner en funcionamiento los motores y las aletas se mueven para hacer posible el vuelo. Después, con la ayuda de los mandos de control se va dirigiendo el vuelo, que dependerá en gran medida de los

conocimientos y destreza del piloto. En algunos casos, es posible fijar un rumbo de forma automática. Los modelos que permiten incorporar un GPS van corrigiendo el vuelo y ajustándose hasta llegar al punto indicado. (VIU, 2018).

Usos más comunes de los Drones en la Topografía.

Con la incorporación de los drones, siendo este un complemento a la topografía tradicional hay que mencionar los diferentes usos existentes que traen grandes beneficios al hacer uso de estas nuevas herramientas, como son:

- Levantamientos topográficos y modelos digitales de terreno precisos
- Cálculo de volúmenes y movimientos de tierras
- Gestión y actualizaciones catastrales
- Cartografía digital
- Seguimiento y monitorización de obras, inventarios, trabajos de subcontratos.
- Estimación y presupuestado de trabajos de mantenimiento en carreteras.
- Seguimiento y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias.
- Generación de mapas de alta resolución de líneas eléctricas (Aerial Insights, 2019).

Como se ha podido describir algunas de las posibilidades que nos ofrecen el uso de esta tecnología dron en el campo de la topografía en la cual se resalta la velocidad y agilidad de la obtención y procesamiento de datos lo cual conlleva a una disminución importante de costos, además que nos permite realizar la topografía de sitios que con la topografía tradicional era inaccesible por tanto a la seguridad.

Ventajas del levantamiento topográfico con drones

Al hacer uso de estos nuevos equipos la principal ventaja que se obtiene es el aumento del desempeño y rendimiento de los profesionales dedicados a esta área. Así como la notable disminución del tiempo en levantar grandes extensiones de terrenos, con esta nueva tecnología se puede cubrir fácilmente varias hectáreas de terreno en tan solo un día de trabajo. Esto da como resultado la disminución de tiempo, costo y mano de obra.

Otras de las ventajas que se tiene al incorporar esta tecnología al campo de la topografía son:

- Obtención de altas precisiones incluso precisiones a centímetros en toda la parte de la superficie levantada.
- Se puede controlar el nivel de precisión de los mapas o planos, es decir, cuando no se necesite de una precisión alta se puede disminuir el desempeño del equipo y del procesamiento de los datos.
- Obtención de varios insumos sin ningún incremento de costo o esfuerzo extra, tales como: ortofotos, mapas de elevación, nubes de puntos, curvas de contorno y reconstrucciones 3D.
- Los datos obtenidos son compatibles con varios programas y herramientas informáticas, así como online que permiten procesar los datos de manera fácil, rápida y eficiente.
- Para lugares inaccesibles y difíciles de ingresar no hay necesidad de exponer trabajadores a entornos peligrosos: carreteras transitadas, zonas inaccesibles o con orografía escarpada (Campos Rodríguez, 2019).

Geotecnia

La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil. El conocimiento de las propiedades mecánicas del suelo donde se y de las condiciones físicas del ambiente, constituyen el mejor medio de prevención ante desastres naturales que pueden causar graves daños económicos y sociales (SGM, 2015).

Exploración y Muestreo del Suelo

Este proceso ayuda a la identificación de las capas de depósitos que subyacen a una estructura propuesta y sus características físicas que se refiere generalmente a la exploración del subsuelo. El propósito es obtener información que ayudará al ingeniero a la investigación que está realizando (Das, 2014).

Para ellos es importante conocer las propiedades índices, mecánicas e hidráulicas de los materiales del subsuelo (suelos y rocas), por lo que es necesario obtener muestras durante los trabajos de exploración en campo, estas pueden ser alteradas e inalteradas o en algunos casos integrales (SIAPA, 2014).

Según (Das, 2014) nos dice que se pueden obtener dos tipos de muestras de suelo durante la exploración del subsuelo: alteradas y no alteradas. Las muestras alteradas, pero representativas, generalmente se pueden utilizar para los siguientes tipos de pruebas de laboratorio:

1. Análisis granulométrico
2. Determinación de los límites líquido y plástico

3. Peso específico de sólidos del suelo
4. Determinación del contenido orgánico
5. Clasificación de suelo

“Sin embargo, las muestras de suelo alterado no pueden ser utilizadas para la consolidación, conductividad hidráulica o pruebas de resistencia al corte. Para estas pruebas de laboratorio se deben obtener muestras de suelo no alteradas” (Das, 2014).

Muestras Alteradas.

Este tipo de muestras alteradas son aquellas cuya estructura es afectada por la forma en la que se realiza el muestreo, es decir no reflejan exactamente como se encontraba el suelo en su estado natural; sirven para clasificar los suelos, hacer determinaciones de propiedades índice y para preparar especímenes compactados, para pruebas de permeabilidad y mecánicas. Estas muestras sirven para realizar ensayos más simples (SIAPA, 2014).

Muestras Inalteradas.

Son aquellas cuya estructura no es afectada significativamente por el muestreo; es decir estas reflejan exactamente como se encontraba el suelo en su estado natural; se utilizan para clasificar los suelos y hacer determinaciones de propiedades índice, mecánicas e hidráulicas. Este tipo de muestras sirven para ensayos mucho más complejos en donde se requiere que muestren lo más exacto posible la naturaleza del suelo, para obtener análisis físicos y químicos (SIAPA, 2014).

Perfiles del subsuelo

Los datos geotécnicos y la información de interés del subsuelo pueden representarse en cortes a lo largo de perfiles de interés; éstos constituyen un

complemento de los mapas geotécnicos, y presentan la variación con la profundidad de las propiedades de los materiales. La realización de muestreos y otras investigaciones del subsuelo son de gran ayuda para la elaboración de los cortes geotécnicos o también llamados perfiles del subsuelo, permitiendo las correlaciones con diferentes propiedades medidas o estimadas de forma indirecta (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

La parte expuesta de un corte de suelo aparenta una organización en capas horizontales llamadas *horizontes* cada uno de ellos es distinto en relación al color, textura, estructura, consistencia, espesor y profundidad, este conjunto de varios horizontes se lo llama perfil del suelo. El perfil dice mucho acerca de la historia del suelo. Representa una clase de autobiografía de la cual podemos aprender acerca de su origen y su evolución. Desde un punto de vista práctico, el perfil del suelo es de gran importancia, porque indica al investigador qué tipo de suelo posee y cuáles son las condiciones del suelo (Owen, 2008).

Los perfiles del suelo ayudan a caracterizar y evidenciar los cambios en la naturaleza y calidad del suelo, y en cuanto a la identificación y comprensión de tales marcas, es el camino correcto para conocer el suelo y la capacidad de uso y manejo, para hacer predicciones acerca del futuro del recurso en cuanto a su conservación, mejoramiento o destrucción (Valverde, Haro, & Yáñez, 2011).

Mapas geotécnicos

Los mapas geotécnicos constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y uso del territorio, proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportando datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una

determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

Se debe tomar en consideración los aspectos generales de interés dentro de la ingeniería geológica como:

- Descripción y clasificación geotécnica de suelos y rocas.
- Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.
- Condiciones hidrogeológicas y distribución del agua.
- Condiciones y procesos geomorfológicos.
- Procesos dinámicos.

Los contenidos y el detalle de la información, así como el grado de complejidad en la realización de los mapas, están en función del tipo de escala y extensión, objetivos concretos que se persigan, la importancia de los diferentes factores geológico - geotécnicos y sus relaciones, la información disponible, datos y representatividad, así como las técnicas de representación (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

Tipos de Mapas.

Los mapas geotécnicos se realizan a escalas acordes con sus objetivos, proporcionando información geológico - geotécnica básica o específica para una aplicación determinada. Los mapas se pueden clasificar en función de su objetivo, contenido y escala. En la tabla 1 se presenta la clasificación establecida por la UNESCO-IAEG en 1976, y en la tabla 2 se incluye una clasificación de los mapas en función de su escala y contenido, indicando también sus métodos de elaboración y aplicaciones (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

Tabla 1*Clasificación de los mapas geotécnicos*

Criterio	Tipo de Mapa
<i>Objetivo</i>	<p>Específico: proporciona información sobre un aspecto determinado de la ingeniería geológica o para un objetivo concreto (emplazamiento de residuos, trazados de ferrocarril, condiciones del terreno para cimentación de una presa, para excavaciones subterráneas, etc.).</p> <p>Múltiple o general: proporciona información referente a diversos aspectos de la ingeniería geológica, para variados objetivos y usos geotécnicos.</p>
<i>Contenido</i>	<p>Temático o analítico: aporta detalles o evalúa un componente determinado del medio geológico (grado de meteorización, grado de fracturación de macizos rocosos, procesos sísmicos, expansividad de los suelos, etc.).</p> <p>Integrado:</p> <p>a) aporta las condiciones geotécnicas descriptivas de todos los principales componentes del medio geológico;</p> <p>b) zonificación del territorio en unidades geotécnicamente homogéneas.</p> <p>Auxiliar: presenta datos concretos de algún aspecto geológico o geotécnico.</p> <p>Complementario: proporciona información básica sobre algún aspecto geológico, geomorfológico, hidrogeológico, etc.</p>
<i>Escala</i>	<p>Gran escala (local): >1:10.000</p> <p>Escala media: 1:10.000 a 1:100.000</p> <p>Pequeña escala (regional): < 1:100.000</p>

Nota. (Gonzales de Vallejo, et al., 2002)

Tabla 2*Clasificación de mapas geotécnicos según su escala*

Tipo de mapa	Contenido	Método de elaboración	Aplicaciones
Regional < 1:10.000	Datos geológicos, conjuntos litológicos, estructuras geotectónicas, rasgos geomorfológicos regionales, grandes zonas afectadas por procesos. Información general de interés geotécnico e interpretaciones.	Fotografía aérea, mapas topográficos y geológicos previos, infamación existente, observaciones de campo.	Planificación y reconocimientos preliminares, información general sobre la región y tipos de materiales existentes.
Local Etapa de reconocimiento preliminar. 1:10.000 a 1:500	Descripción y clasificación de suelos y rocas, estructuras, geomorfología, condiciones hidrogeológicas, procesos geodinámicos, localización de materiales para construcción.	Fotografía aérea, recorridos de campo, medidas y datos de campo.	Planificación y viabilidad de obras y reconocimiento detallado.
Local Etapa de investigación in situ. 1:5.000 a 1:500	Propiedades de los materiales y condiciones geotécnicas, aspectos importantes para la construcción de una obra concreta.	Los anteriores más datos de calicatas y sondeos, geofísica, ensayos in situ y de laboratorio.	Detalles sobre emplazamientos y problemas geológico - geotécnicos. Diseño de obras.

Nota. (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

Contenido de los Mapas Geotécnicos.

Independientemente del tipo de mapa, éstos deben incluir una serie de información básica como nos indica (Gonzales de Vallejo, et al., 2002), los cuales son:

- Topografía y toponimia.
- Distribución y descripción litológica de las unidades geológicas.

- Espesor de suelos, formaciones superficiales y rocas alteradas,
- Discontinuidades y datos estructurales.
- Clasificación geotécnica de suelos y rocas.
- Propiedades de suelos y rocas.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Condiciones geomorfológicas.
- Procesos dinámicos.
- Investigaciones previas existentes.
- Riesgos geológicos.

Obtención de Información.

Las características y propiedades geotécnicas de los suelos y rocas se evalúan bien a partir de medidas directas e indirectas, mediante la aplicación de clasificaciones geotécnicas, índices y correlaciones empíricas, que permiten obtener datos cuantitativos. En la tabla 3 recoge los métodos de obtención de datos para realizar las cartografías geotécnicas; estos métodos, habituales en ingeniería geológica.

Tabla 3

Métodos para la obtención de datos

Método	Descripción
Foto interpretación y teledetección	- Cartografía de suelos y rocas. - Estructuras geológicas. - Hidrología y redes de drenaje. - Procesos dinámicos.
Reconocimientos y toma de datos de campo	- Detalles geológicos y geomorfológicos. - Datos y medidas geológico-geotécnicas.
Métodos geofísicos	Resistividad eléctrica: - Porosidad, fracturación, saturación, salinidad. - Profundidad del nivel freático.

Método	Descripción
	-Profundidad del sustrato rocoso. Sísmica: -Densidad, módulos de deformación. -Grado y profundidad de zonas alteradas. -Profundidad del sustrato rocoso.
Sondeos, calicatas y muestreos	-Aportan muestras representativas. -Permiten la observación directa de los materiales. -Propiedades físicas y características del terreno. -Condiciones hidrogeológicas.
Ensayos in situ	-Propiedades resistentes y deformaciones. -Tensiones naturales. -Permeabilidad, presión de agua. -Datos de ensayos en sondeos.
Ensayos de laboratorio	- Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Nota. (Gonzales de Vallejo, et al., 2002)

Para la elaboración del mapa geotécnico se debe realizar una serie de pasos para obtener un producto didáctico y práctico que sea de fácil interpretación, en el que se debe realizar una descripción del área en estudio, la recolección de toda la información relevante y la interpretación de la misma.

Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los fenómenos físicos que se producen en nuestro planeta, destacando entre estos, el electromagnetismo, la propagación de ondas mecánicas en la corteza terrestre y la gravedad. Esta ciencia puede definirse como la aplicación de la física y la geología al estudio de los materiales que componen la corteza terrestre y de los campos de fuerza que surgen de ella y ejercen su influencia hacia el exterior. (Geofisica.cl, 2006)

Según (CEDEX, 2010) nos indica que las diversas aplicaciones de la geofísica en la geotecnia, así como también en la ingeniería civil en general son técnicas que

ayudan a resolver diversos problemas que se pueden encontrar en los primeros metros de profundidad, así es de aplicación en los siguientes campos:

- Reconocimiento del terreno
 1. Obtener información de la estructura del subsuelo
 2. Determinación de la deformabilidad de los materiales (cálculo de módulos dinámicos)
- Determinación de la profundidad del nivel freático y del sustrato rocoso
- Determinación de cavidades y fracturas (naturales o artificiales)
- Evaluación del grado de eficacia de tratamientos en la mejora del terreno.
- Determinación de daños en estructuras existentes.
 1. Filtraciones en presas
 2. Estado del terreno bajo losas de hormigón
 3. Localización de estructuras enterradas: tuberías, túneles, restos arqueológicos (CEDEX, 2010).

Tabla 4

Ventajas y desventajas de la aplicación de la geofísica

Geofísica	
Ventajas	Desventajas
Costos relativamente bajos	Indeterminación de resultados ya que son técnicas indirectas
Cubrir grandes extensiones de terreno	Datos requieren un procesamiento adecuado para su interpretación
Técnicas no destructivas	A mayor profundidad de investigación menor la resolución que se obtiene

En los trabajos de investigación dentro de la geología y geotecnia entre los métodos más utilizados son los geoelectrónicos, principalmente la tomografía eléctrica y la

sísmica de refracción. Estos representan casi el 90 % de los trabajos geofísicos que se desarrollan en el área de las investigaciones geotécnicas (Rodríguez, 2001).

Geofísica de Refracción

La prospección con métodos sísmicos consiste en explorar el subsuelo mediante ondas sísmicas. Este método incluye elementos que generan ondas sísmicas con un aparato llamado fuente en un medio de propagación ya sea en rocas, aire o agua; y con un elemento que detecta y registra las ondas al cual se lo denomina receptor.

Analizando las ondas registradas se espera obtener información de las propiedades elásticas y morfológicas del medio de propagación, es decir las diferentes capas del subsuelo (Cavada, 2000).

La norma que establece los parámetros para aplicar el método de refracción sísmica para una investigación del subsuelo es la ASTM D 5777-18, la cual fue aplicada para el presente trabajo de evaluación del subsuelo removido que ocurrió con el deslizamiento producido en Chunchi.

Los equipos, procedimientos en campo, interpretación y métodos para la evaluación de las condiciones subsuperficiales que se usan para el método de refracción sísmica deben cumplir con las especificaciones de la norma ASTM D 5777-18. En donde las mediciones de refracción sísmica son aplicables para diversos usos, incluyendo geológica, geotécnica, hidrológica, ambiental, la exploración minera, explotación de petróleo, y las investigaciones arqueológicas (ASTM D 5777-18, 2018).

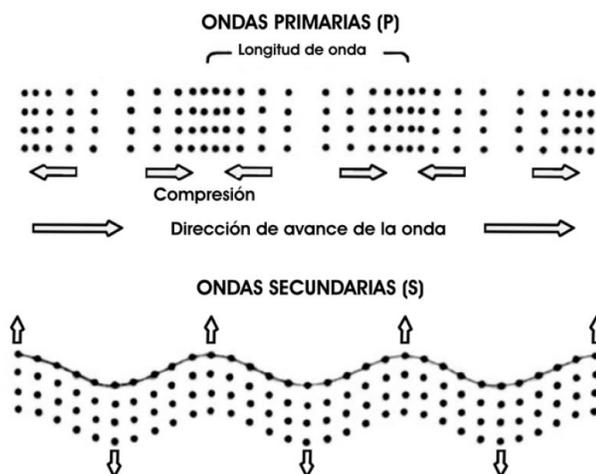
Fundamento del Método.

El estudio de los terremotos, permitió conocer en el siglo XIX, que consistían en la propagación en todas direcciones de ondas elásticas. Pronto se conoció que

el foco del sismo generaba ondas de compresión longitudinales o primarias (Ondas P) y ondas de cizalla transversales o secundarias (Ondas S). Así mismo, se comprobó que cuando las Ondas P y S alcanzaban la superficie del terreno, se generaban ondas superficiales de interfase, de tipo Rayleigh (Ondas R) y tipo Love (Ondas L). Las Ondas P son las más rápidas, pues son las primeras que se observan. A continuación, se registran las Ondas S, y finalmente llegan las Ondas Rayleigh y la Ondas Love. De este modo, se verifica que $V_P > V_S > V_R > V_L$. (Rodríguez, 2001)

Figura 4

Propagación de las Ondas Primarias (P) y Secundarias (S)



Nota. (Rodríguez, 2001)

La sísmica de refracción es un método geofísico de prospección, que estudia la respuesta del terreno cuando se propaga a través de él una onda de compresión (Onda P) producida por medios mecánicos en la superficie. El parámetro físico que se analiza es la velocidad de propagación de la onda V_p a través de los materiales del subsuelo en función de la compacidad de los mismos. Tal

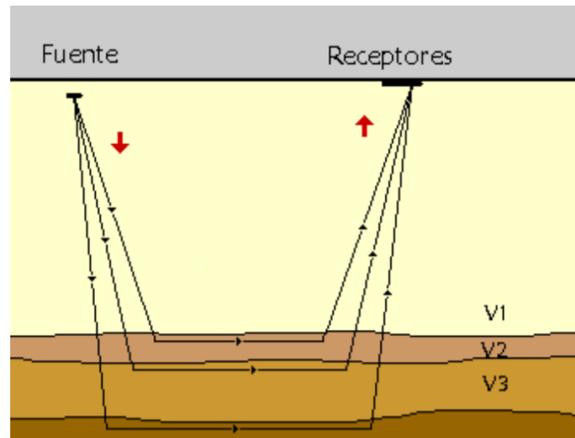
parámetro nos aportará información de las características geomecánicas de la zona en que se apliquen. (Rodríguez, 2001)

Es un método de prospección general, especialmente adaptado para los diversos trabajos de Ingeniería Civil, la mayor aplicabilidad de este método es para realizar la medición de espesores de recubrimiento, profundidad de nivel freático, prospección petrolera y en la realización estudios hidrogeológicos. Este método permite la localización, es decir la profundidad del sustrato, así como la posición del acuífero bajo ciertas condiciones, adicional con esta técnica se realiza la caracterización de suelos (Lopez Avalos, Mejia Carrillos, & Vega, 2008).

El método se basa en la medición del tiempo de viaje de las ondas refractadas críticamente en las interfaces entre las capas con diferentes propiedades físicas; fundamentalmente por contraste entre impedancias acústicas ($i = \rho \cdot v$; en donde ρ es la densidad y v la velocidad de la capa). La energía sísmica se genera mediante un impacto controlado en superficie (o a una determinada profundidad) que va propagándose en forma de onda elástica a través del subsuelo interaccionando con las distintas capas, de manera que una parte de la energía se refleja y permanece en el mismo medio que la energía incidente, y el resto se transmite al otro medio con un fuerte cambio de la dirección de propagación debido al efecto de la interfase (refracción). De esta interacción, la sísmica de refracción solo considera las refracciones con ángulo crítico ya que son las únicas ondas refractadas que llegan a la superficie y pueden ser captadas por los geófonos. (Gayá Florez, 2004)

Figura 5

Representación de las velocidades sísmicas en corte



Nota. La imagen muestra las distintas capas del subsuelo obtenidas mediante el método geofísico el cual genera una imagen sísmica del terreno en forma de campo de velocidades. Tomado de (Gayá Florez, 2004).

Etapas de la Prospección Sísmica por Refracción.

Según (Cavada, 2000) explica que la prospección por refracción tiene cuatro etapas, las cuales se detallan a continuación:

1. Recopilación de información y planificación.
2. Adquisición de datos en campo.
3. Procesamiento de los datos.
4. Interpretación.

Profundidad de Penetración y Resolución.

Según (Rodríguez, 2001), en este método de sísmica de refracción la profundidad de penetración y la resolución de la técnica va en función a los siguientes parámetros operativos:

Número de geófonos: determina la profundidad de investigación que se puede alcanzar. A mayor número de geófonos, se alcanza mayor profundidad de penetración.

Espaciado entre geófonos: determina la resolución del registro, de modo que cuanto menor sea el espaciado, mayor será la resolución.

Número de puntos de tiro: condiciona el detalle con el que se determina el espesor y la velocidad de las capas. A mayor número de puntos de tiro, mayor detalle.

Fuente de energía: en las prospecciones someras la energía es generada por el golpeo de un martillo sobre una placa metálica. Con fuentes de energía más intensas (explosivo, aire comprimido, etc.) pueden alcanzarse mayores penetraciones y mayor alcance (Rodríguez, 2001).

Clasificación del Suelo.

Los ensayos de geofísica dan como resultado las velocidades principales (vp) y secundarias (vs) las cuales ayudan a la clasificación del suelo.

Para los valores de velocidad de onda principal (P) en la norma (ASTM D 5777-18, 2018) los rangos de velocidad de onda de compresión para la clasificación de suelos son los que se indica en la siguiente tabla.

Tabla 5

Rango de velocidades para ondas de compresión en el suelo y roca

Materials	Velocity	
	ft/s	m/s
Natural Soil and Rock		
Weathered surface material	800 to 2000	240 to 610
Gravel or dry sand	1500 to 3000	460 to 915
Sand (saturated)	4000 to 6000	1220 to 1830
Clay (saturated)	3000 to 9000	915 to 2750
Water ^A	4700 to 5500	1430 to 1665
Sea water ^A	4800 to 5000	1460 to 1525
Sandstone	6000 to 13 000	1830 to 3960
Shale	9000 to 14 000	2750 to 4270
Chalk	6000 to 13 000	1830 to 3960
Limestone	7000 to 20 000	2134 to 6100
Granite	15 000 to 19 000	4575 to 5800
Metamorphic rock	10 000 to 23 000	3050 to 7000

^ADepending on temperature and salt content.

Nota. (ASTM D 5777-18, 2018)

Según la (NEC - SE - DS, 2015) en la normativa de Peligro Sísmico. Diseño sísmo resistente, define seis tipos de perfil del suelo. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil (Velocidad media de la onda de cortante).

Tabla 6

Tipos de suelo según la NEC-15

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista.	

Nota. Obtenido y modificado de (NEC - SE - DS, 2015).

Aplicaciones del Método de Prospección por Refracción.

El método proporciona información de los espesores y velocidades de los estratos del subsuelo. Esto puede resultar de utilidad principalmente en geología aplicada a obras civiles (Geotecnia) tales como en la construcción de edificios, puentes, represas, carreteras, taludes en los que interesa la profundidad de la roca inalterada, el grado de meteorización del recubrimiento, localizar materiales de construcción y grado de fractura o de facilidad de fracturación de la roca y evaluar el riesgo sísmico. En minería para calcular volúmenes de material explotable y en Hidrogeología para ayudar a determinar la continuidad y extensión de acuíferos (Cavada, 2000).

Geofísica de resistividad

El método de resistividad eléctrica forma parte de los métodos eléctricos de prospección geofísica y es parte de los métodos geofísicos. En el método de resistividad eléctrica (método resistivo), las corrientes eléctricas generadas

artificialmente se introducen en el suelo y las diferencias de potencial resultantes se miden en la superficie. Las desviaciones del patrón de diferencias potenciales que se esperan de un terreno homogéneo proporcionan información sobre la forma y las propiedades eléctricas de las inhomogeneidades del subsuelo (Maldonado, 2020).

La resistividad es un parámetro físico intrínseco de cada material pero que para el caso de los suelos está muy influenciado por su porosidad y sobre todo por la cantidad de agua que ocupen sus poros y su contenido en sales que le confieren una menor resistencia al paso de la corriente. Es por eso que son técnicas muy utilizadas en la localización de zonas húmedas, acuíferos y en otros problemas hidrogeológicos (CEDEX, 2010).

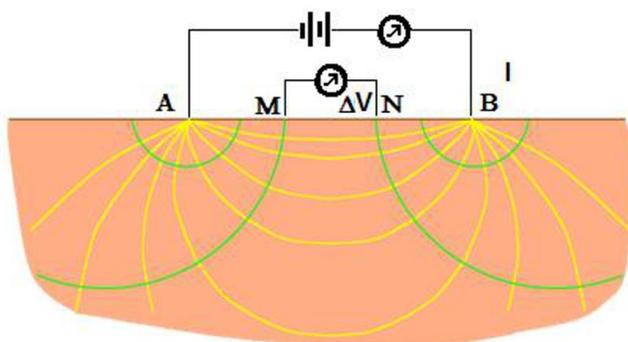
Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada (Gasulla Forner, 1999).

En la siguiente imagen muestra cómo se envía corriente al terreno mediante dos electrodos A y B que se clavan en el suelo (campo eléctrico artificial), se investigan sus

condiciones con otros dos electrodos M y N adicionales, también clavadas en el terreno y cuyas distancias se varían convenientemente.

Figura 6

Mecanismo del Método de resistividad



Nota. Tomado de (CEDEX, 2010).

La resistividad aparente del terreno está en función del cociente entre la diferencia de potencial medida entre los electrodos de investigación y la intensidad de corriente con que se alimenta al terreno. En la función interviene un coeficiente que depende, a su vez, de la disposición de los electrodos. A este coeficiente es lo que se conoce como factor de penetración porque es el que controla la profundidad a la que se requiere la investigación. Con ello se obtiene una información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo, y se determina aproximadamente, la distribución vertical de su resistividad (Cantos Figueroa, 1973).

Según (Cantos Figueroa, 1973) manifiesta que la resistividad del suelo depende de algunos factores que se describen a continuación:

- Tipo de suelo
- El porcentaje de humedad

- Su composición química
- La compactación del material
- La temperatura
- Estratificación del suelo
- La mezcla de diferentes tipos de materiales
- Composición química y concentración de las sales disueltas en la humedad del suelo.

Aplicaciones del Método de Resistividad Eléctrica.

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) son un método muy conveniente y no destructivo para determinar la profundidad de las diferentes capas del suelo y además proporcionar información sobre el grado de saturación de los materiales del subsuelo (CEDEX, 2010).

El SEV es aplicable cuando el objetivo tiene una posición horizontal y una extensión mayor que su profundidad. Además, es conveniente para trabajar a poca profundidad sobre terrenos suaves como complemento de las calicatas o sondeos. El SEV no es adecuado para contactos verticales, fallas, diques, etc. (Gasulla Forner, 1999)

El suelo es una mezcla de rocas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar

más fácilmente mediante la lluvia o el riego del suelo. Diferentes grados de humedad para un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. (Gasulla Forner, 1999)

Valores Representativos de la Resistividad.

La unidad de resistividad se expresa generalmente como ohm centímetro u ohm metro. La resistividad de varios suelos depende principalmente del contenido de agua y de la concentración de iones disueltos. Las arcillas saturadas tienen una resistividad muy baja; en contraste, los suelos y rocas secos la tienen alta (Blog de Ingeniero Civil, 2011). El rango de resistividad generalmente encontrada en varios suelos y rocas se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7

Valores representativos de la resistividad

Material	Resistividad (Ohm-m)
Arena	500 – 1500
Arcillas, limo saturado	0 – 100
Arena arcillosa	200 – 500
Grava	1500 – 4000
Roca intemperizada	1500 – 2500
Roca sana	> 5000

Nota. (Blog de Ingeniero Civil, 2011)

Limitaciones del Método de Resistividad Eléctrica.

El método de resistividad eléctrica es un método eficiente para identificar diferentes capas a poca profundidad, así como las discontinuidades verticales las cuales hacen que los resultados de la resistividad sean diferentes.

Sin embargo, de acuerdo a (Maldonado, 2020) el método de resistividad eléctrica presenta una serie de limitaciones como:

1. Las interpretaciones son ambiguas. En consecuencia, son necesarios controles geofísicos y geológicos independientes para discriminar entre interpretaciones alternativas válidas de los datos de resistividad.
2. La interpretación se limita a configuraciones estructurales simples. Cualquier desviación de estas situaciones simples puede ser imposible de interpretar.
3. La topografía y los efectos de las variaciones de resistividad cerca de la superficie pueden enmascarar los efectos de variaciones más profundas.
4. La profundidad de penetración del método está limitada por la potencia eléctrica máxima que se puede introducir en el suelo y por las dificultades físicas de extender largos cables.

Otra de las limitaciones del método que encontró Guasulla Forner en 1999 es:

Su alta sensibilidad a pequeñas variaciones de la conductividad cerca de la superficie, debido por ejemplo al contenido de humedad. Hablando en términos electrónicos, el nivel de ruido es alto. Una topografía accidentada puede tener un efecto similar, ya que el flujo de corriente se concentra en los valles y se dispersa en las colinas. Como resultado se distorsionan las superficies equipotenciales produciendo falsas anomalías debido solo a la topografía.

(Gasulla Forner, 1999)

Configuración de Electrodo.

“Se han diseñado muchas configuraciones de electrodos y, aunque algunas se emplean ocasionalmente en estudios especializados, solo dos son de uso común: la configuración o arreglo Wenner y Schlumberger” (Cantos Figueroa, 1973).

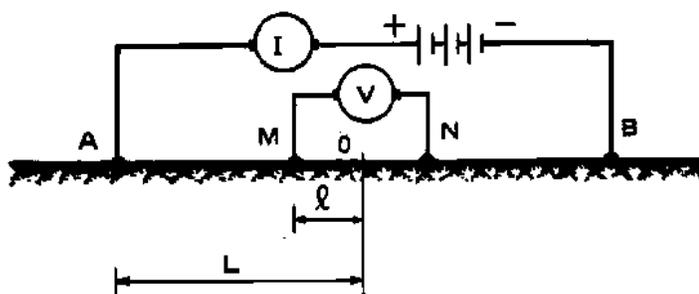
Configuración Schlumberger.

En este dispositivo, los electrodos de medida M y N se sitúan simétricamente a la distancia ℓ del punto estación O.

Los electrodos de corriente, de igual forma, a la distancia variable L, y de forma que los cuatro electrodos queden alineados sobre el terreno como se indica en la siguiente figura.

Figura 7

Configuración de electrodos del método Schlumberger



Nota. (Cantos Figueroa, 1973)

CAPITULO III METODOLOGÍA

Evaluación del deslizamiento

La metodología utilizada en este proyecto fue la de investigación del sitio, recolección de información preliminar e inspección visual del sitio para realizar la evaluación del deslizamiento. Los ingenieros civiles o investigadores a cargo de realizar esta evaluación deben obtener información de las características como se detalla en el siguiente escrito.

Topografía del deslizamiento

Levantamiento topográfico con drones

En la actualidad los drones han revolucionado el trabajo topográfico, la parte más importante ha sido la reducción de costos y esfuerzo. Por lo tanto, ha facilitado que varios proyectos que no eran posibles hoy se puedan realizar sin ningún inconveniente, beneficiando en la parte económica, de personal y de tiempo. Por ejemplo, al analizar un terreno de gran extensión que podía demorar días o semanas, el día de hoy con el uso de un dron, dicha extensión de terreno se podría realizar en menos de una hora, dependiendo de las condiciones ambientales y climáticas de la zona, es por eso que con la implementación de esta tecnología es muy útil a nivel de trabajos ingenieriles.

Esta tecnología además permite capturar un mayor número de puntos para realizar planimetrías. El levantamiento topográfico que se consigue con ellos aporta mucha más información gráfica y real que un levantamiento topográfico tradicional, gracias a sus cámaras de última generación. Y como con un dron se puede llegar a zonas de difícil acceso o incluso inaccesibles, se amplía el conocimiento del lugar y de los alrededores, con lo que conseguimos mayor información. Además, así se consiguen

evitar riesgos innecesarios para el topógrafo, porque no tienen que ir por zonas de difícil acceso debido a la geografía del terreno, ni por zonas altamente contaminadas ni peligrosas como volcanes o incendios forestales (Global Mediterránea Geomática, 2018).

Las etapas para la obtención del producto topográfico

Ubicación de la zona de estudio.

En primera instancia se debe conocer el terreno ya sea de forma presencial o de manera virtual mediante los diferentes software o aplicaciones que actualmente nos sirven de ayuda para este tipo de lugares, para el proyecto se realizó la visita exploratoria de la zona de estudio, así como también se verificó la zona de estudio en Google Earth, esto sirvió para dimensionar el deslizamiento y cuanta área de estudio va a abarcar el levantamiento topográfico. Además de que este reconocimiento ayuda a planificar las zonas de los posibles puntos de control, punto base y también la organización del plan de vuelo del lugar.

Figura 8

Vista General del área del levantamiento topográfico



Nota. La imagen muestra el área del levantamiento topográfico realizada con drones. Tomado de (Google Earth, 2020).

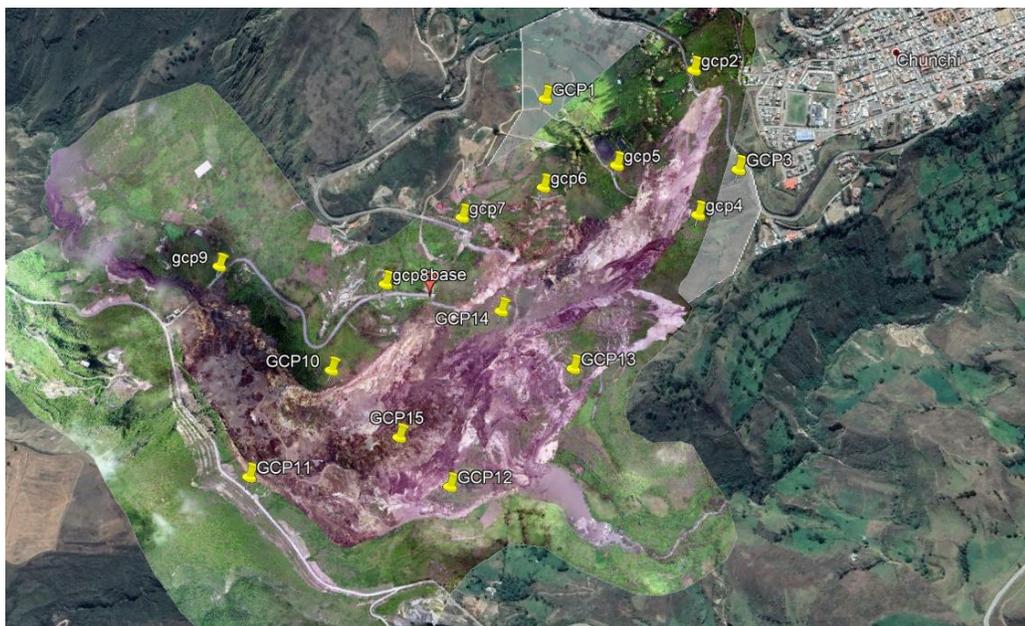
Puntos de Control.

La colocación de puntos de control nos ayudara a georreferenciar el levantamiento topográfico. Esto consiste básicamente en colocar varias marcas en el terreno con el fin de tener apoyo terrestre al momento de procesar las fotografías y tener punto con coordenadas conocidas.

La colocación de los puntos se las debe hacer dentro del área de estudio mas no en los extremos o límites, con el fin de no perder información. Es recomendable según el área del levantamiento colocar cierto número de punto de control, para la zona de estudio del presente proyecto se procedió a colocar 14 puntos de control distribuidos de la siguiente manera:

Figura 9

Puntos de Control en el terreno



Nota. La imagen muestra la ubicación de los puntos de control dentro de la zona del deslizamiento para georreferenciar el mapa del levantamiento topográfico. Tomado de (Google Earth, 2020).

La colocación de puntos comprende en ubicar varios paineles o marcas referenciales que puedan ser distinguidas por el dron en el momento del vuelo. Para la colocación de puntos es recomendable colocar en un área abierta que no exista árboles o elementos que obstruyan su visibilidad, el painel o cualquiera marca que sea, este debe ser estar bien sujetado a la superficie del terreno para evitar que se mueva y perder información. Estos paineles deben ser de colores llamativos y fáciles de reconocer durante el procesamiento de las fotografías. En las siguientes figuras podemos observar la colocación de los puntos de control en el área de estudio.

Figura 10

Colocación de paineles en los puntos de control



Nota. La imagen muestra la colocación de los paineles en los puntos de control y la toma de las coordenadas para posteriormente georreferenciar cada punto con un GPS de precisión.

Medición de los puntos de control.

Para georreferenciar cada punto de control se procede a medir las coordenadas de cada uno de estos puntos, el proceso de medición es mediante el método RTK el cual consiste en una antena base y antena móvil GPS.

El método de trabajo que se utilizó con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento que se lo traslada a cada uno de los puntos. Al receptor fijo se le llama Estación Base.

Para la ubicación de la estación base se debe tomar en cuenta que, para evitar posibles interferencias de comunicación entre los receptores, se la debe colocar en una zona estratégica, es decir en la parte más alta y visible posible y el bastón de soporte de la antena móvil de la misma manera, se debe elevar de acuerdo a las diferentes necesidades que se requiera.

Las coordenadas de los puntos, se obtienen en el sistema de referencia WGS84. La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM. También podrían obtenerse en cualquier otro sistema de referencia local con respecto al cual se haya realizado la georreferenciación (TEC OCEANO, 2015).

Tabla 8

Coordenadas de Puntos de Control

Coordenadas de Puntos de Control			
Nombre	Coordenadas		
	Este	Norte	Altitud (m)
Base	729470,43	9747061,42	1865,10
GCP1	730133,71	9747373,27	2004,80
GCP2	730576,47	9747113,94	2185,78
GCP4	730252,74	9746815,89	1988,79
GCP5	730192,35	9747008,94	2009,57
GCP6	729962,81	9747124,17	1961,34
GCP7	729676,36	9747151,38	1926,17
GCP8	729435,50	9747083,25	1860,15

Coordenadas de Puntos de Control

Nombre	Coordenadas		
	Este	Norte	Altitud (m)
GCP9	728858,23	9747570,05	1771,43
GCP10	729062,05	9747093,70	1808,99
GCP11	728631,82	9746839,28	1824,91
GCP12	729162,38	9746541,76	1805,07
GCP13	729758,89	9746658,32	1926,68
GCP14	729598,60	9746943,58	1867,07
GCP15	729068,67	9746661,65	1789,50

La toma de puntos se lleva a cabo por un operario y un receptor. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, así como también anotando el número del punto y cualquier observación, mientras que el otro operario está a cargo de la vigilancia del receptor fijo o base.

Figura 11

Receptor fijo



Nota. La imagen muestra el GPS Topográfico Topcon Hiper V el cual se utilizó como receptor fijo.

Figura 12*Receptor Móvil***Vuelo del Dron (Registro fotográfico).**

Para la ejecución del vuelo en el área de estudio se realizó 5 vuelos en distintos puntos, debido a la gran extensión del terreno y a la conformación muy accidentado del terreno, los vuelos fueron distribuidos de la siguiente manera:

Figura 13*Puntos donde se realizaron los vuelos*

Nota. La imagen muestra la ubicación de los puntos desde donde se va a realizar cada vuelo, así como también los puntos de control y punto base. Tomado de (Google Earth, 2020).

Figura 14

Área que cubre cada uno de los vuelos



Nota. La imagen muestra el área que se abarca con cada uno de los vuelos, en este caso se realiza cinco vuelos. Tomado de (Google Earth, 2020).

El vuelo fue realizado con el Dron Phantom 4 Pro con una cámara de 12mpx, en la siguiente figura se muestra tanto el dron como el control remoto para realizar los vuelos.

Figura 15

Dron Phantom 4 Pro



Nota. La imagen muestra el Dron Phantom 4 Pro, el control remoto y un aparato electrónico en este caso un teléfono celular con el respectivo el plan de vuelo.

Procesamiento de imágenes y datos en Pix4D

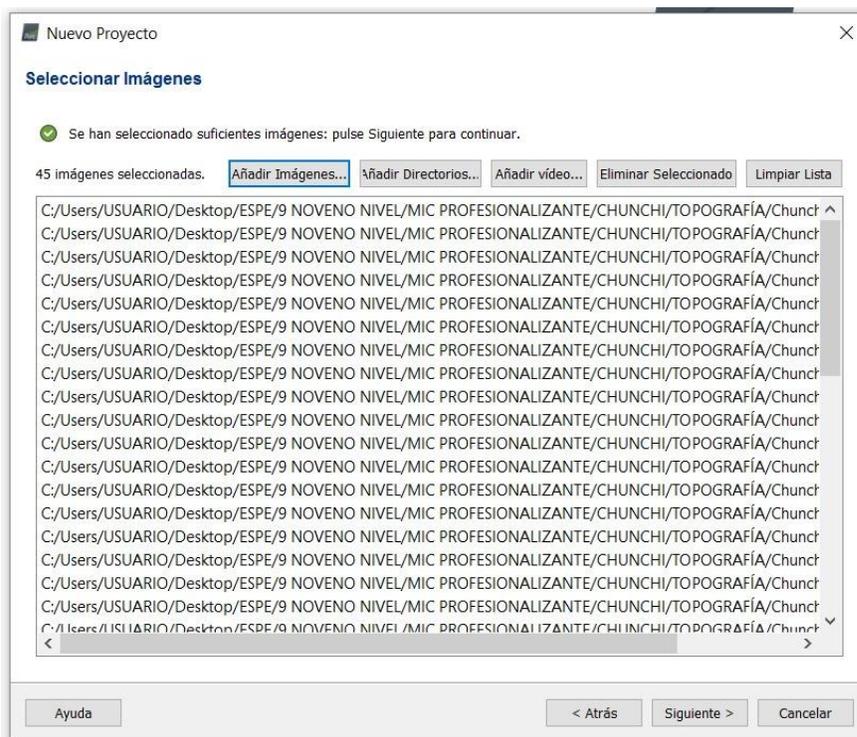
Para el procesamiento de las fotografías se utilizó el software Pix4D con licencia estudiantil, uno de los programas de fotogrametría para mapeo profesional con drones, en el cual se realizan cuatro pasos fundamentales en el procesamiento de las imágenes los cuales son:

1.- Creación del proyecto nuevo y cargado de imágenes al Pix4D

Una vez descargada las imágenes de la memoria del don se almacena en una carpeta para ingresar al software de trabajo.

Figura 16

Ventana de cargado fotográfico de Pix4D



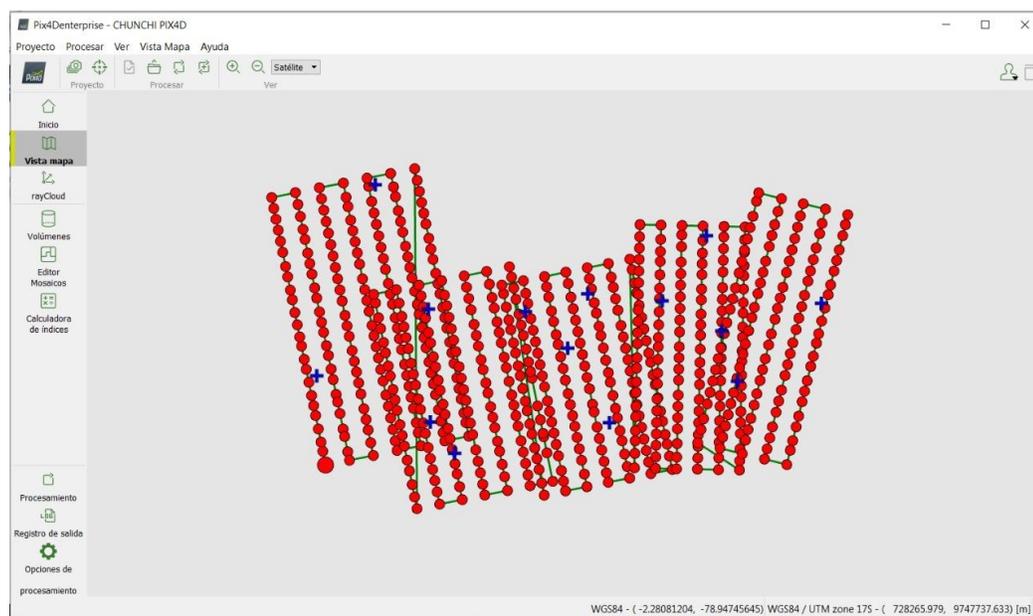
Nota. En la imagen se observa la ventana de interacción del Pix4D donde se procede a cargar las imágenes. Tomado de Pix4D.

El programa Pix4D detecta de forma automática las propiedades de las fotografías como: el sistema de coordenadas de las imágenes, latitud, longitud y altitud

Para obtener la ortofoto y los insumos para las curvas de nivel, hay que dirigirse a la plantilla de opciones de procesamiento en la cual se debe elegir la sección del método estándar y marcar 3D Maps.

Figura 17

Vista general de las fotografías en Pix4D.



Nota. La imagen muestra una vista general de las imágenes previamente cargadas en Pix4D obtenidas de los 5 vuelos. Tomado de Pix4D.

2.- Procesamientos internos del Pix4D

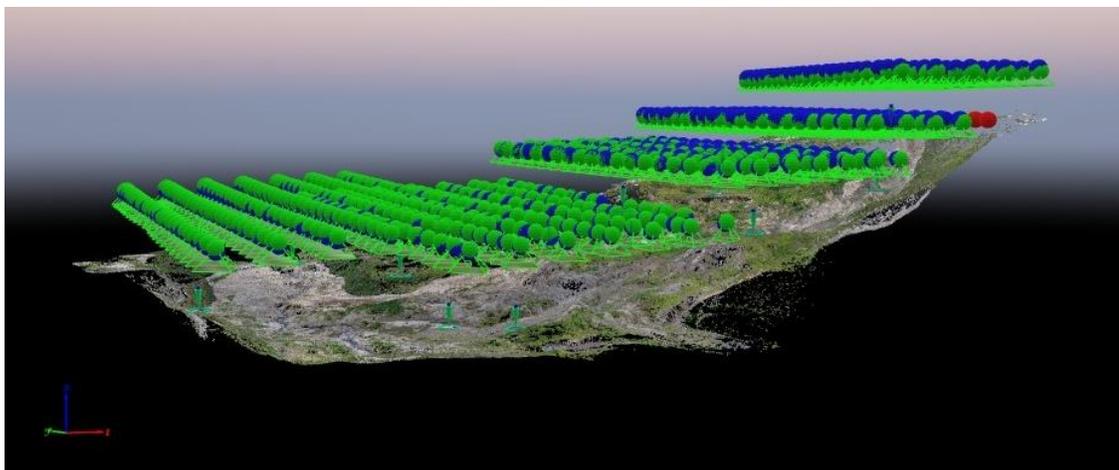
En este proceso el programa realiza una búsqueda automática de puntos en común entre las fotografías con el fin de poder emparejarlas.

2.1- Procesamiento Inicial

Como primer paso dentro de los procesamientos internos se elige la opción de proceso completo y se genera una previsualización del ortomosaico en el informe final.

Figura 18

Resultados del proceso inicial



Nota. La imagen muestra los resultados del primero proceso cada una de las cámaras con su respectiva fotografía. Tomado de Pix4D.

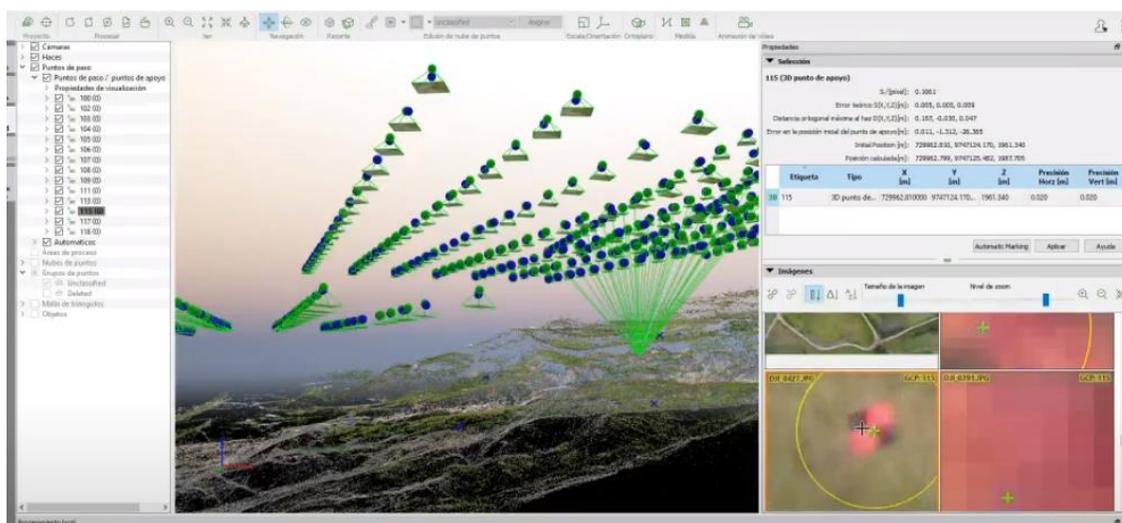
2.2.- Densificación de la nube de puntos

En primera instancia se gestiona los puntos de apoyo o puntos de control que previamente se colocaron y que fueron medidos en campo. Los cuales sirven de ayuda para la corrección de coordenadas del levantamiento.

Seguidamente se procede a corregir y emparejar los puntos de control de las imágenes con los puntos de control ingresados con el fin de eliminar los posibles errores del levantamiento y obtener un producto georreferenciado confiable.

Figura 19

Emparejamiento y rectificación de los puntos de control



Nota. La imagen muestra el emparejamiento y rectificación de los puntos de control.

Tomado de Pix4D.

Este procedimiento se lo realiza con cada uno de los 15 puntos de control que posee el levantamiento. Como último paso para la nube de puntos en la ventana de configuración de procesamiento en la opción de la nube de puntos y malla se coloca una escala de imagen de $\frac{1}{4}$, densidad *optima*, número de emparejamiento 3. El resultado se lo genera en formato LAS que en un tipo generalizado y estándar.

2.3.- Generación de MDS, ortomosaicos e índices

Como tercer paso se realiza la generación de MDS y ortomosaico en la cual la resolución se coloca a 5pixels con el fin de obtener mayor velocidad en el procesamiento, el cual es un promedio de acuerdo a las aturas de los vuelos realizados.

Dentro del programa existe la opción de generación de curvas cada cierta distancia, en este caso se coloca de acuerdo a los requerimientos del proyecto, que se generó cada 2 metros.

Como producto final se obtiene una ortofoto de la superficie del deslizamiento, con el que se obtendrá el modelo topográfico con su respectiva planimetría y altimetría, como se indica en la siguiente figura.

Figura 20

Ortofoto de la zona del deslizamiento



Nota. La imagen muestra los resultados finales de los procesos. Tomado de Pix4D.

Generación de Topografía

Con los productos obtenidos en el procesamiento anterior y con la ayuda de softwares con licencias educativas como Global Mapper y Civil 3D se puede generar la planimetría y altimetría del terreno.

Planimetría.

Para la generación de la planimetría se utiliza el software Civil 3D, en el cual se carga la ortofoto obtenida previamente y sobre la cual se procede a identificar y dibujar todos los elementos relevantes y necesarios.

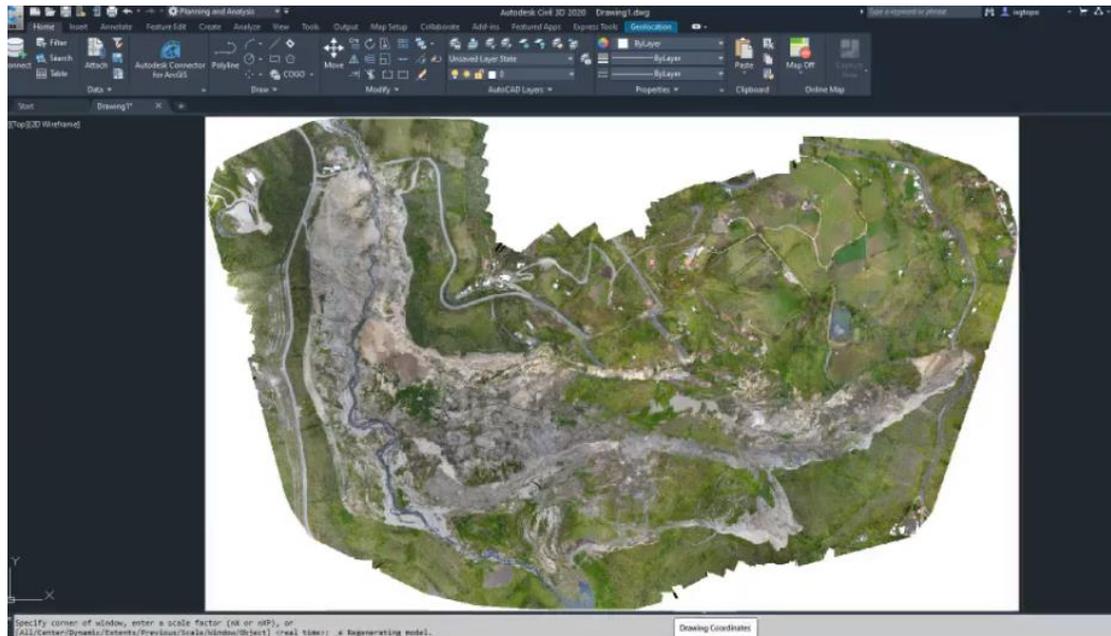
Por el tamaño de la imagen se procede a simplificar la fotografía con la ayuda del software GEOWeaver con su respectiva licencia de prueba, para que sea compatible con Civil 3D. En el cual cargamos la ortofoto y modificamos la resolución para reducir su tamaño y continuar con el proceso.

Se carga la ortofoto en el Civil 3D en el cual se modifica el sistema de referencia del programa con el mismo de la fotografía para que de esta manera sean compatibles. En las opciones del programa se selecciona para Ecuador y para el código del sistema de coordenadas: SIRGAS datum, UTM Zone 17S. Como se indica en la siguiente figura.

Una vez cargada la ortofoto con su respectiva configuración de las coordenadas, estará lista para trabajar la planimetría del terreno. Como se muestra a continuación en la siguiente figura.

Figura 21

Ortofoto en Civil3D



Nota. Ortofoto del deslizamiento. Tomado del software Civil 3D.

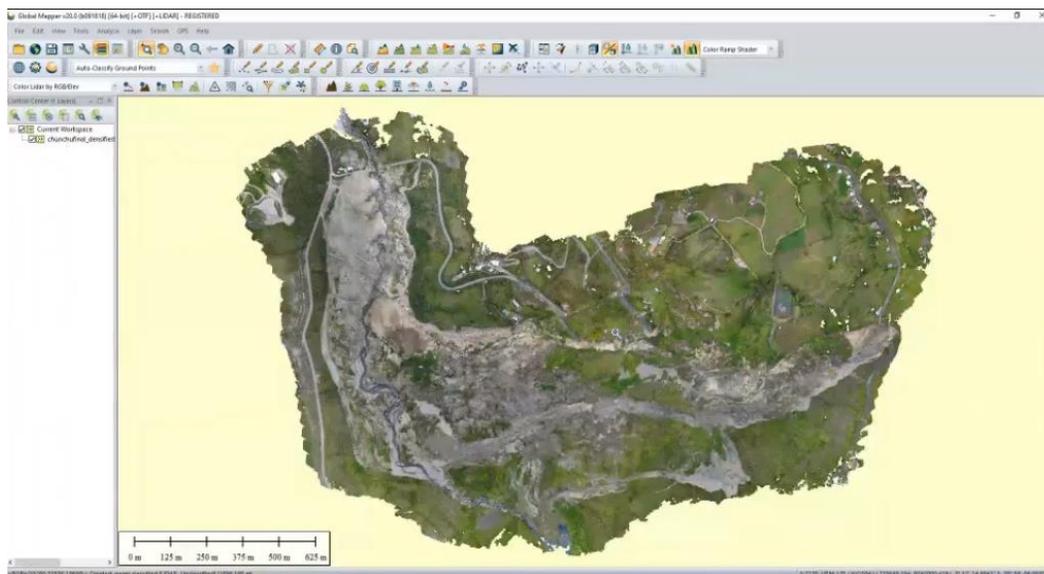
Se procede a dibujar todos los elementos de interés como: calles, casas, corrientes de agua, piscinas de oxidación, torres de energía, etc. El nivel de detalle que se obtiene dependerá de la experticia del dibujante.

Altimetría.

Para inicial el proceso de altimetría es importante depurar los datos y clasificar los puntos con el fin de dejar los que son únicamente de la superficie del terreno para que las curvas de nivel resulten los más exactas posibles, esto se lo realiza con la ayuda del software Global Mapper.

Figura 22

Cargado de la ortofoto en Global Mapper



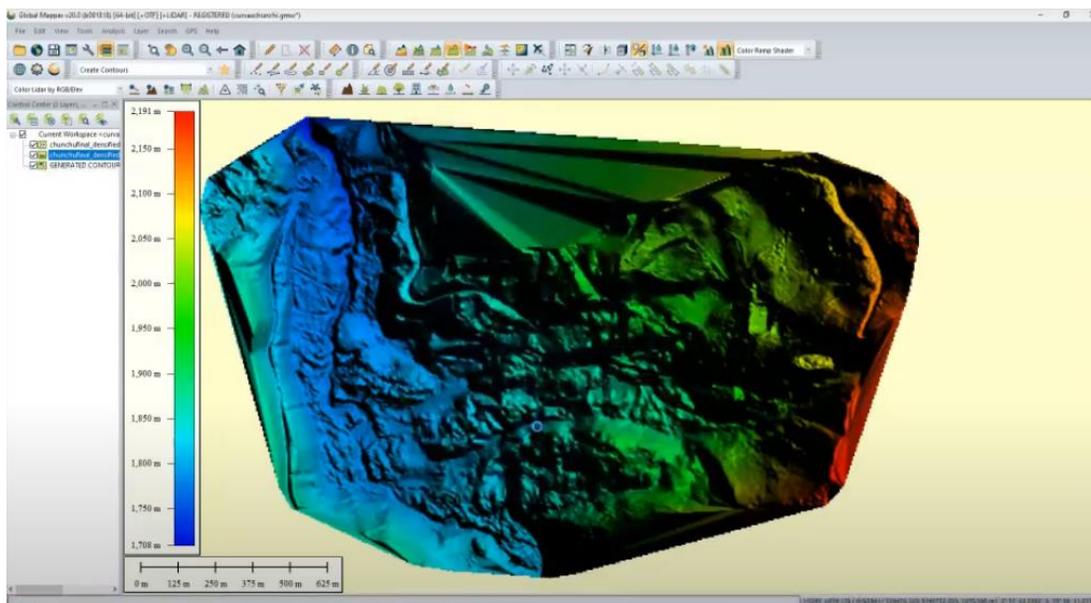
Nota. Ortofoto del deslizamiento. Tomado de Global Mapper.

Para proceder con la depuración de los puntos, se hace un recorte de los que no corresponden a la superficie, estos pueden ser por lo general vegetación, edificaciones y algunos puntos de ruido.

Una vez realizadas todas las correcciones, obteniendo únicamente los puntos de la superficie del suelo se procede a triangular, obteniendo la superficie digital del terreno que a partir de ella se genera las curvas de nivel cada 2m, mostradas en las siguientes figuras.

Figura 23

Superficie digital del deslizamiento



Nota. La imagen muestra ya superficie digital final del deslizamiento. Tomado de Global Mapper.

Muestreo del suelo

Para realizar el muestreo se consideró 3 zonas representativas en las cuales se determinó que eran las más adecuadas para la caracterización. Debido a que en el cuerpo del deslizamiento se encontraba muy removido, lo más conveniente fue realizar el muestreo en los flancos derecho e izquierdo del deslizamiento ya que son las zonas donde podemos encontrar las capas del suelo en mejor estado y nos puede arrojar datos más precisos. Por cada punto de muestreo se tomaron 3 muestras alteradas y 1 inalteradas dando en total 9 muestras inalteradas y 3 alteradas. En el flanco izquierdo se realizó 2 puntos de muestreo, así como en el flanco derecho tan solo uno por las características que se venía observando.

Figura 24*Ubicación de los puntos de muestreo***Tabla 9***Coordenadas de Puntos de Muestreo*

Coordenadas de Puntos de Muestreo			
Nombre	Coordenadas		
	Este	Norte	Altitud (m)
Talud 1	729572,00	9746433,19	1880,04
Talud 2	729550,93	9746427,69	1883,71
Talud 3	729533,67	9746964,00	1867,97

Muestreo en frentes abiertos

Muestras Alteradas.

Para realizar la toma de muestras alteradas se basó en la metodología descrita en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 686, Mecánica de suelos. Toma de muestras Alteradas. El muestreo se lo realizo en el flanco derecho e izquierdo del deslizamiento en el cual se procedió a recolectar las muestras alteradas directamente del talud, las muestras se las tomo de las diferentes capas presentes, es decir a diferentes alturas desde la superficie del suelo. Para que cada muestra sea representativa se debe tomar al menos un 1 kg de suelo.

Primera muestra alterada, se realizó el muestreo en donde visualmente cambiaba las características del suelo en este caso fue a una profundidad de 1 m, 3 m y a los 8 m.

Figura 25

Perfil del talud muestreado - Talud 1



Nota. La imagen muestra el perfil del suelo del talud 1 que se encuentra en el flanco izquierdo.

Segunda muestra alterada, se realizó el muestreo en donde visualmente cambiaba las características del suelo en este caso fue a una profundidad de 7 m, 9 m y a los 15 m.

Figura 26

Perfil del talud muestreado - Talud 2



Nota. La imagen muestra el perfil del suelo del talud 2 que se encuentra en el flanco izquierdo.

Tercera muestra alterada, se realizó el muestreo en donde visualmente cambiaba las características del suelo en este caso fue a una profundidad de 1 m, 2 m y a los 3 m.

Figura 27*Perfil del talud muestreado - Talud 3*

Nota. La imagen muestra el perfil del suelo del talud 3 que se encuentra en el flanco izquierdo.

Muestras inalteradas.

Para realizar la toma de muestras inalteradas se basó en la metodología descrita en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 687, Mecánica de suelos. Toma de muestras Inalteradas. Las muestras inalteradas fueron tomadas de la parte más baja de cada uno de los taludes, en total se tomaron 3 muestras las cuales fueron extraídas y transportadas de manera cuidadosa para no alterar sus propiedades.

Manejo de Muestras.

Cada uno de las muestras deben ser guardadas en fundas plásticas con el fin de no alterar sus propiedades naturales, como por ejemplo la humedad; deben contener una identificación en la cual debe constar la fecha, nombre del proyecto, nombre o

código de la muestra, ubicación con sus respectivas coordenadas y la profundidad a la que se realizó el muestreo. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 28

Recolección de muestras



Nota. En la siguiente imagen se muestra el manejo correcto de las muestras con su respectiva identificación.

Para realizar un correcto transporte desde el área de muestreo hasta el laboratorio se debe colocar en cajas para su confinamiento para evitar que se disgreguen.

Perfiles del Suelo.

Para la elaboración de los perfiles del suelo en cada uno de los puntos de muestreo (taludes) se analizó de manera manual-visual las características del suelo in situ. Para ello es fundamental conocimientos y experticia en el área de geología. El

resultado de los perfiles realizados en campo, nos da una idea previa de los resultados que se obtendrán en laboratorio.

Figura 29

Elaboración de perfiles en campo



Nota. La imagen muestra la caracterización de las muestras con el fin de crear el perfil de suelo.

Mapa Geotécnico

Descripción del área en estudio

Se realizará una recopilación de información sobre el área de investigación, detallando características relevantes que permita comprender la importancia de la elaboración de un mapa geotécnico de la zona.

Para la identificación del área de estudio se realizó varias visitas a campo en la cual se pudo analizar los aspectos más relevantes de la zona del deslizamiento como son: el área de estudio de 238,54 ha, ubicado en la provincia de Chimborazo, cantón Chunchi, sector la Armenia con una población de 12686 habitantes (INEC, 2010).

Recolección de información para la elaboración del mapa

La información necesaria para la elaboración del mapa geotécnico se obtuvo mediante un muestreo con su respectiva caracterización de las propiedades de los materiales del suelo, los cuales se realizaron a través de ensayos en laboratorio.

Una vez obtenido los resultados, teniendo una visión mucho más detallada de la zona se procedió a elaborar un mapa preliminar con la ayuda de la topografía para posteriormente en campo completar y corroborar la información, obteniendo un mapa mucho más detallado, en la cual se identifican los movimientos de tierra, características de los flujos, además de los diferentes materiales de la zona, afloramientos de agua, grietas, escarpes y todo lo correspondiente a la morfología de la zona.

Este mapa geotécnico permitirá entender de una forma general cómo ocurrió el deslizamiento y en qué condiciones se presenta actualmente.

Geofísica

Geofísica de refracción

Para la investigación del subsuelo del deslizamiento, se utilizó el método de sísmica de refracción, la cual se aplicó la metodología descrita en la norma ASTM D 5777-18.

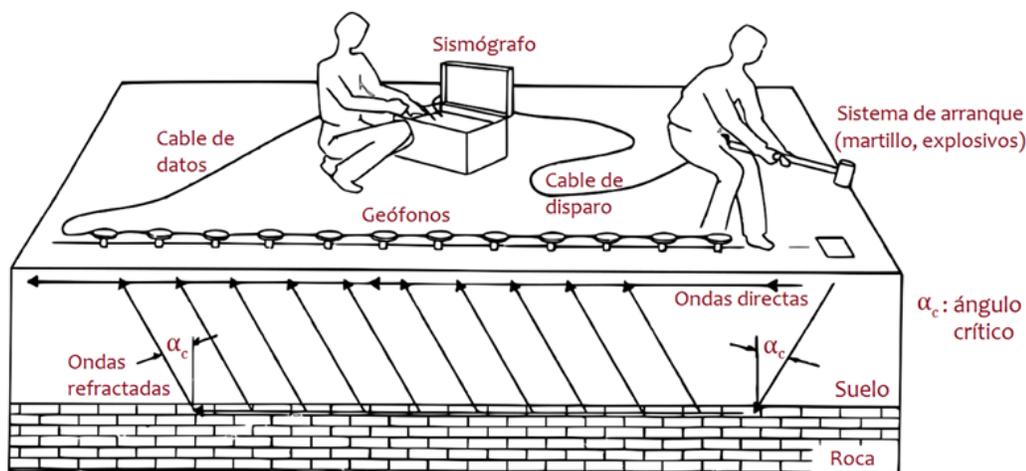
Equipos, Instrumentos y Dispositivos.

Se requiere de tres fundamentos principales a la hora de la obtención de datos, una fuente, un equipo de receptores y un sistema de adquisición. El posicionamiento más conveniente de la fuente y los receptores es un paso importante para la obtención fiable de datos. Los receptores detectan una señal impresa por la fuente que se traduce en señales eléctricas que serán leídas por el sistema de adquisición que digitaliza y

registra los datos, la correcta funcionalidad de estos tres elementos es de gran importancia ya que influyen directamente en la calidad de los datos obtenidos, luego estos se conectan a unos elementos secundarios que agrupados permiten la correcta cadena de medición del ensayo (Ramírez Cárdenas, 2021).

Figura 30

Esquema del equipo de adquisición de datos en campo



Nota. La imagen muestra los elementos esenciales utilizados en el método de sismica de refracción para la obtención de datos. Obtenido de (ASTM D 5777-18, 2018).

Tabla 10

Equipos utilizados en la Sísmica de Refracción

Equipos	Descripción	Fotografía
Sismógrafos	Para la toma de los ensayos se utilizará un sismógrafo multicanal.	

Equipos	Descripción	Fotografía
Geófonos	Se emplearon geófonos verticales cuya frecuencia es de 4.5 Hz.	
Cable de conexión de geófonos y sismógrafos	Se disponen de dos cables, que serán conectados a la mitad del arreglo.	
Fuente de energía	En este caso de estudio la fuente de energía que se usará es la fuente de impacto, las cuales están conformadas por un martillo de 25 libras, una placa móvil de acero y el cable del trigger el cual permite el envío de la señal a la unidad de adquisición.	

Procedimiento.

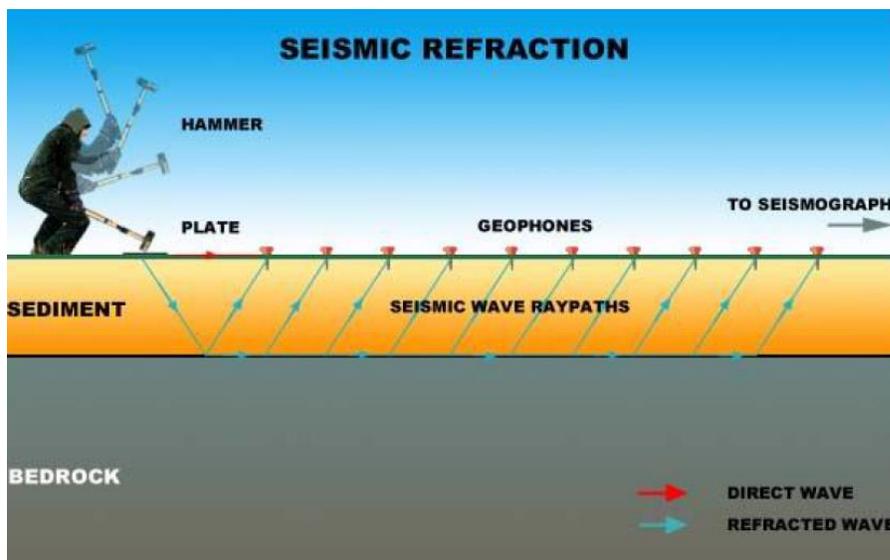
Para realizar la geofísica de refracción se hace un reconocimiento de la zona de estudio, se instalan de forma alineada una serie de sensores (geófonos). A

continuación, se golpea con el martillo sobre la placa metálica en uno de los puntos de disparo. La perturbación provocada por el impacto genera ondas que se transmiten por el subsuelo y son recogidas por cada geófono. Este impulso mecánico que recibe el geófono lo convierte en impulso eléctrico, que después de amplificado, pasa a la pantalla del sismógrafo en forma de señal visible generando los diferentes frentes de ondas y dando lugar a un registro (Rodríguez, 2001).

Este procedimiento se repite para cada punto de disparo de la línea sin variar la posición de los sensores, obteniéndose así la máxima información posible. Una vez finalizado el ensayo en campo se deberá usar un programa de procesamiento de dato el cual dibujará un perfil con los espesores de las capas y sus respectivas velocidades de onda (Rodríguez, 2001).

Figura 31

Procedimiento de la Sísmica de Refracción



Nota. (Rodríguez, 2001).

Adquisición de Datos en Campo.

Siguiendo la metodología descrita en la norma ASTM D5777-18, se procedió a realizar el ensayo de sismica de refracción para la obtención de los datos en campo.

Una vez seleccionado el lugar más apropiado para realizar el ensayo en campo, se coloca en el suelo los geófonos y la fuente de energía, procurando que estos tengan un buen contacto con el suelo. Así mismo colocando de forma equidistante los geófonos a la distancia geofónica establecida.

Sucesivamente se extienden los dos cables sísmicos multipolares de doce conexiones cada uno y procede a conectar los geófonos a las conexiones que hay a lo largo de los cables.

Se prepara la estación de medida colocando el sismógrafo en el centro de la línea geofísica y se conectan los dos conectores multipolares al instrumento de medición. Se conecta el sismógrafo a la batería y el punto de energización. Se prende los equipos y se verifica que todos los geófonos se encuentren conectados, caso contrario se verifica las conexiones al suelo para continuar con el registro de los datos.

Se aplica la fuente de energía con un martillo sobre una placa metálica generando una simulación de ondas artificiales las cuales serán captadas y registradas por el receptor. Se coloca la placa a la mitad de la distancia entre geófonos, procurando que este bien firme y en contacto con el suelo para proceder a golpear con el martillo.

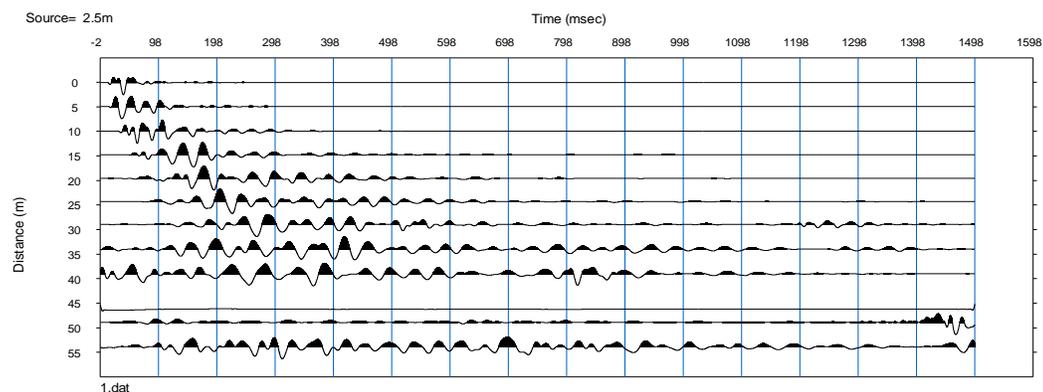
Procesamiento de Datos.

Una vez realizado el ensayo de la sismica de refracción se obtienen los registros con extensión .dat los cuales son la compilación del número de golpes en cada sitio y esos se transforman en un solo registro. A estos registros hay que realizar una

configuración en la que se indica la geometría real del terreno realizando la corrección por topografía y el lugar en donde se dio los golpes. Para ello se ocupa el programa Pickwin en donde se va dando la configuración a cada uno de los registros.

Figura 32

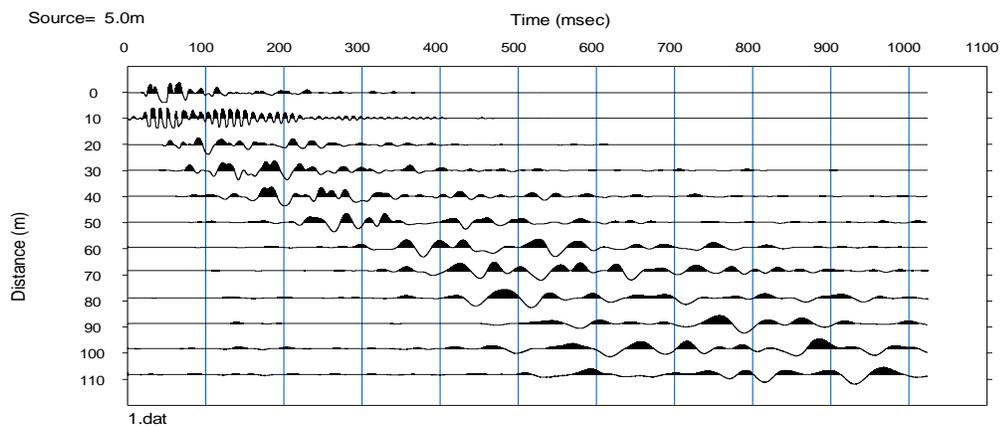
Ondas generadas - Sísmica de refracción: Línea 1



Nota. La imagen muestra las ondas que se generaron con el ensayo de sísmica de refracción de la línea 1. Tomada del software Pickwin.

Figura 33

Ondas generadas - Sísmica de refracción: Línea 2



Nota. La imagen muestra las ondas que se generaron con el ensayo de sísmica de refracción de la línea 2. Tomada del software Pickwin.

Al realizar la configuración de la geometría de la línea de geofísica se debe indicar la coordenada del golpe de acuerdo a cada registro como se indica en las siguientes tablas, para las líneas sísmicas de refracción. La distancia entre geófonos es de 5 metros en la línea 1 y de 10 metros en la línea 2. Se utilizaron 12 geófonos en ambos ensayos, dependiendo del equipo que se utilice se registra un canal adicional, el cual es una señal de control, que para el análisis no se lo toma en cuenta.

Tabla 11

Coordenadas de Geófonos y golpes – Línea 1

N°	Coordenada de Geofonos	Coordenadas Reales de Geofonos	Coordenadas de Golpes	Coordenadas de Golpes Reales
1	0	0		
2	5	4.9	2.5	2.5
3	10	9.9	7.5	7.4
4	15	14.7	12.5	12.3
5	20	19.5	17.5	17.1
6	25	24.2	22.5	21.9
7	30	28.9	27.5	26.6
8	35	33.9	32.5	31.4
9	40	38.9	37.5	36.4
10	45	43.9	42.5	41.4
11	50	48.8	47.5	46.4
12	55	53.8	52.5	51.3

Tabla 12

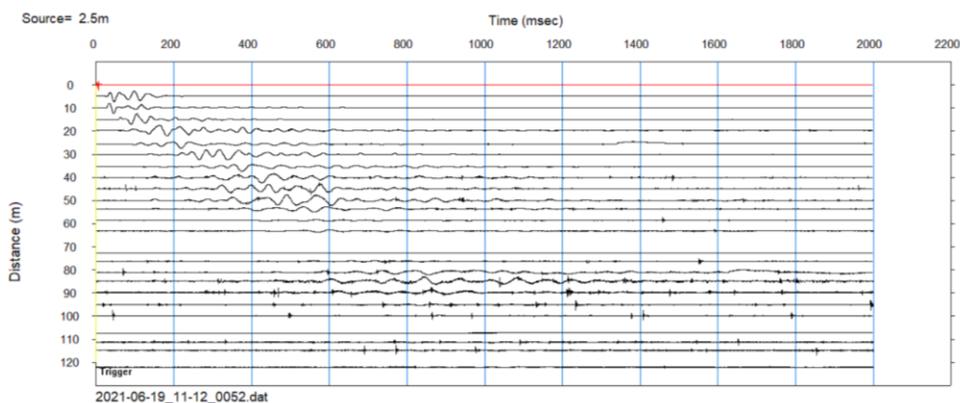
Coordenadas de Geófonos y golpes – Línea 2

N°	Coordenada de Geofonos	Coordenadas Reales de Geofonos	Coordenadas de Golpes	Coordenadas de Golpes Reales
1	0	0		
2	10	9.9	5.0	5.0
3	20	19.9	15.0	14.9
4	30	29.8	25.0	24.9
5	40	39.7	35.0	34.8
6	50	49.6	45.0	44.7
7	60	59.3	55.0	54.5
8	70	68.2	65.0	63.8
9	80	78.7	75.0	73.5
10	90	88.5	85.0	83.6
11	100	98.1	99.0	97.1
12	110	108	105.0	103.1

Para realizar la corrección del número de canales, se debe eliminar el canal de control, la cual se encuentra marcado en color rojo como se indica en la siguiente figura.

Figura 34

Corrección de canales



Nota. La imagen muestra en color rojo el canal de control que debe ser eliminado del registro original. Obtenido del software Pickwin.

Para finalizar la configuración de la geometría hay que volver a dar la coordenada de cero al primer geófono ya que se eliminó el canal de control del equipo que estaba como el primero y con esto se guarda cada uno de los registros en una nueva carpeta para su posterior análisis.

La complejidad de la morfología del terreno deslizado dificultó la obtención de los datos en ciertos sitios para el análisis de la geofísica de refracción, en la línea 1 únicamente se analiza por el método activo y la línea 2 se analiza mediante el método activo, pasivo y combinado; dado que la cantidad de grietas en el sitio dificultó el paso de las ondas en las capas de terreno, provocando mayor cantidad de vacíos y niveles de ruidos muy altos.

Una vez concluido con los arreglos necesarios de cada uno de los registros se procede a realizar el análisis por el método activo.

Método Activo.

Ya teniendo aplicada la geometría a cada registro se analiza mediante el método activo con la ayuda del programa Surface Wave Analysis Wizard. Este programa nos da cuatro formas de analizar, pero para este método utilizamos el Active Source 2D MASW.

Una vez en la pantalla interacción principal del software todas las interacciones se las realiza presionando ENTER. Se debe crear una nueva lista y cargar los registros configurados anteriormente.

Una vez cargado los registros nos aparecerá un cuadro de diálogo en donde se debe colocar las dos opciones, es decir la posición de la fuente (golpes) y la posición del receptor (geófonos) y se presiona OK.

Figura 35

Lectura de los datos a utilizar en el programa

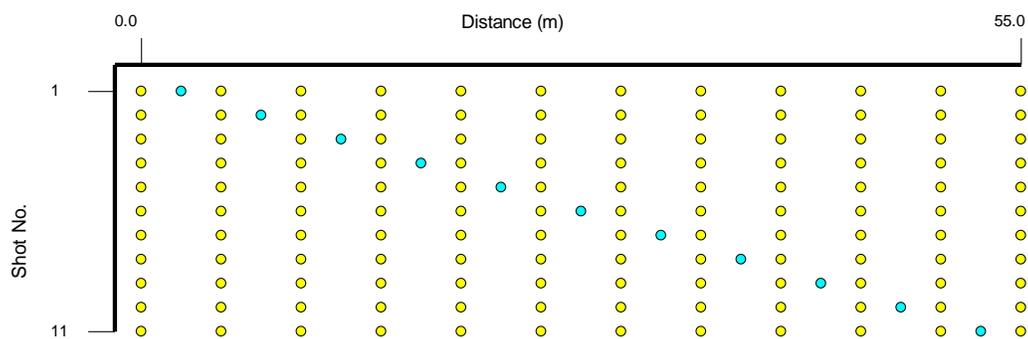


Nota. Programa Surface Wave Analysis Wizard.

Continuando con el análisis se debe dar un nombre que en este caso es "PROYECTO MIC CHUNCHI". Se da ENTER para continuar con la lectura de los registros.

Figura 36

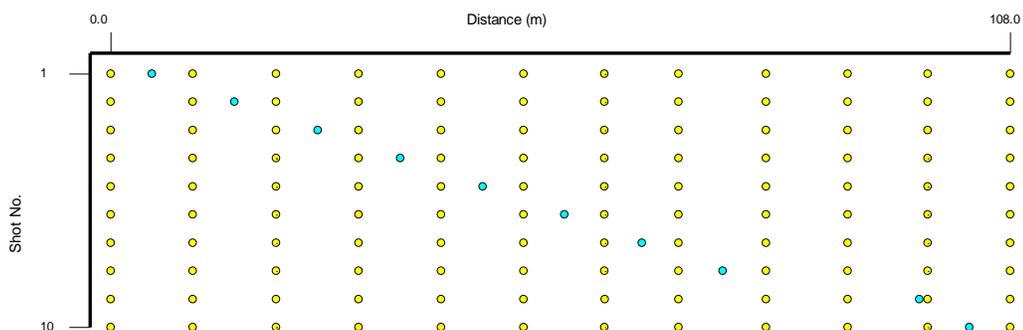
Posición de geófonos y golpes – Línea 1



Nota. La imagen muestra la posición de los 12 geófonos (color amarillo) y la posición en donde se dio los golpes (color azul). Tomado del software Pickwin.

Figura 37

Posición de geófonos y golpes – Línea 2



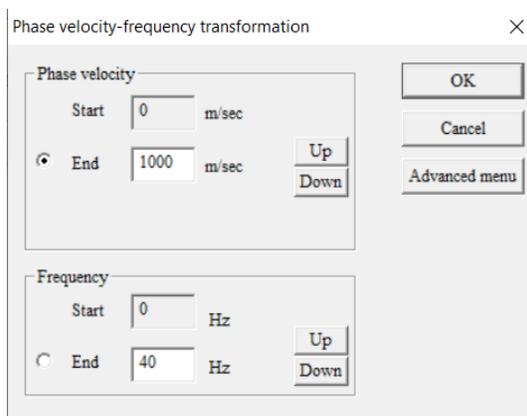
Nota. La imagen muestra la posición de los 12 geófonos (color amarillo) y la posición en donde se dio los golpes (color azul). Tomado del software Pickwin.

Se continua con el proceso, en donde los siguientes datos ya vienen configurados con los registros.

El siguiente cuadro de dialogo se debe colocar un valor de 1000 m/sec para la velocidad final de fase.

Figura 38

Transformación de la fase de velocidad-frecuencia



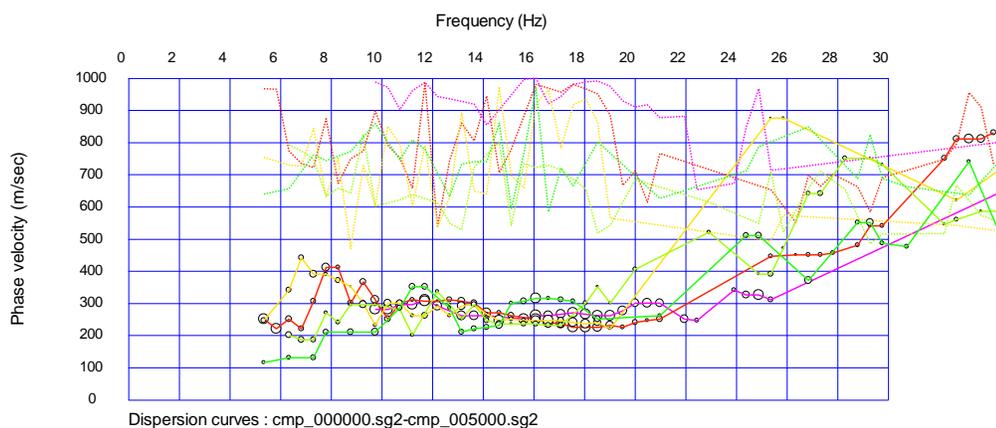
Nota. Software Pickwin.

La frecuencia de los geofonos utilizados para este ensayo son de 4.5 Hz, los cuales se ingresan al programa como la frecuencia mínima y la frecuencia máxima de 40 Hz como se indica en la siguiente figura.

Seguidamente al dar OK, se abre el programa WaveEq el cual muestra la gráfica con todas las frecuencias y señales del ensayo.

Figura 39

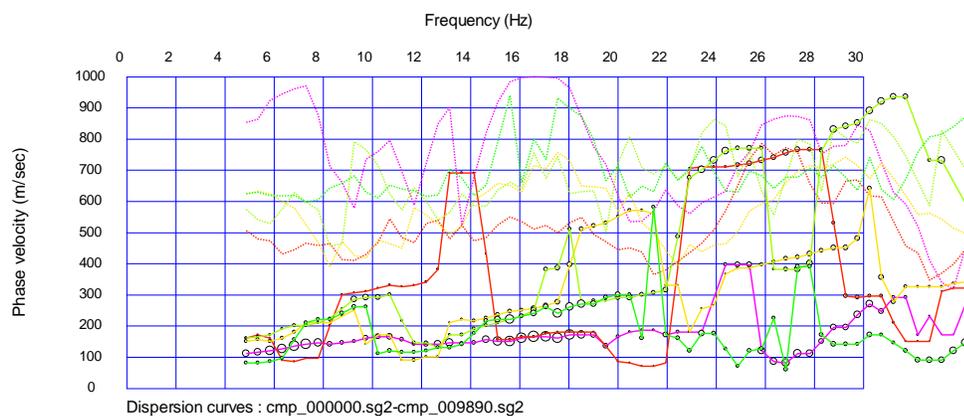
Frecuencias y señales del ensayo – Línea 1



Nota. Software WaveEq.

Figura 40

Frecuencias y señales del ensayo – Línea 2



Nota. Software WaveEq.

Se tiene que delimitar las frecuencias dentro del rango de velocidades esperadas en cada capa apegados a lo que dice la teoría de la geofísica que entre más profundidad mayor es la velocidad de onda, para ello elegimos un rango adecuado para realizar el análisis. Para la delimitación de las ondas se da los límites mínimos y máximos de frecuencia.

Para realizar el modelo se debe tener el suficiente criterio técnico y el conocimiento previo de la zona de estudio, para poder colocar el número de capas posibles que puedan existir en el terreno, en este caso se colocó 5 capas teniendo en cuenta que el suelo está muy removido por causa del deslizamiento.

Para el análisis por el método activo de las líneas sísmica se utilizó el método MASW (2D) (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales en 2Dimension) obteniendo la velocidad normal de onda S, además del espesor de cada capa con su respectiva velocidad de onda en cada una de ellas. Esto es una velocidad de onda inicial es por eso que se debe realizar interacciones para obtener la velocidad de onda real.

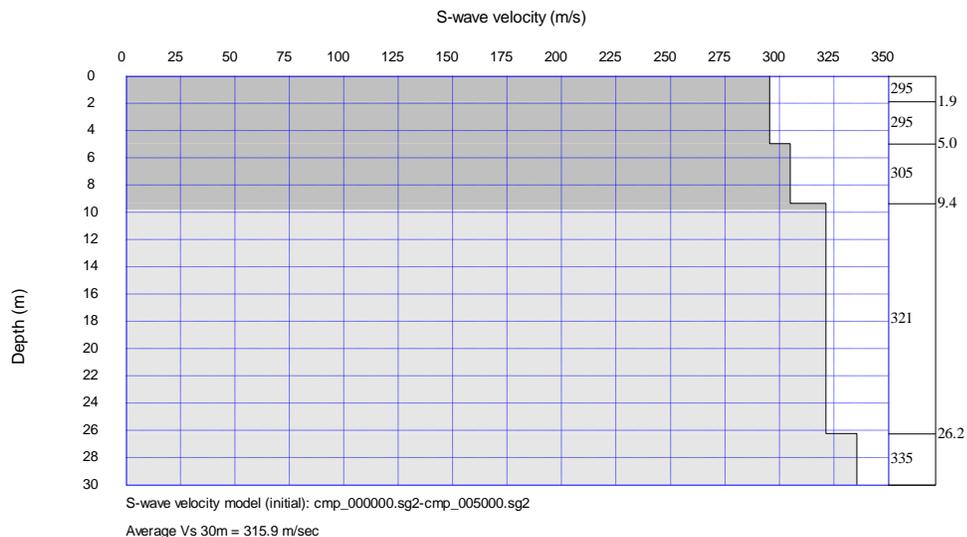
Tabla 13

Velocidad Vs 30 – Método Activo

No.	Vs	Unidad
Línea 1	315,9	m/sec
Línea 2	261,2	m/sec

Figura 41

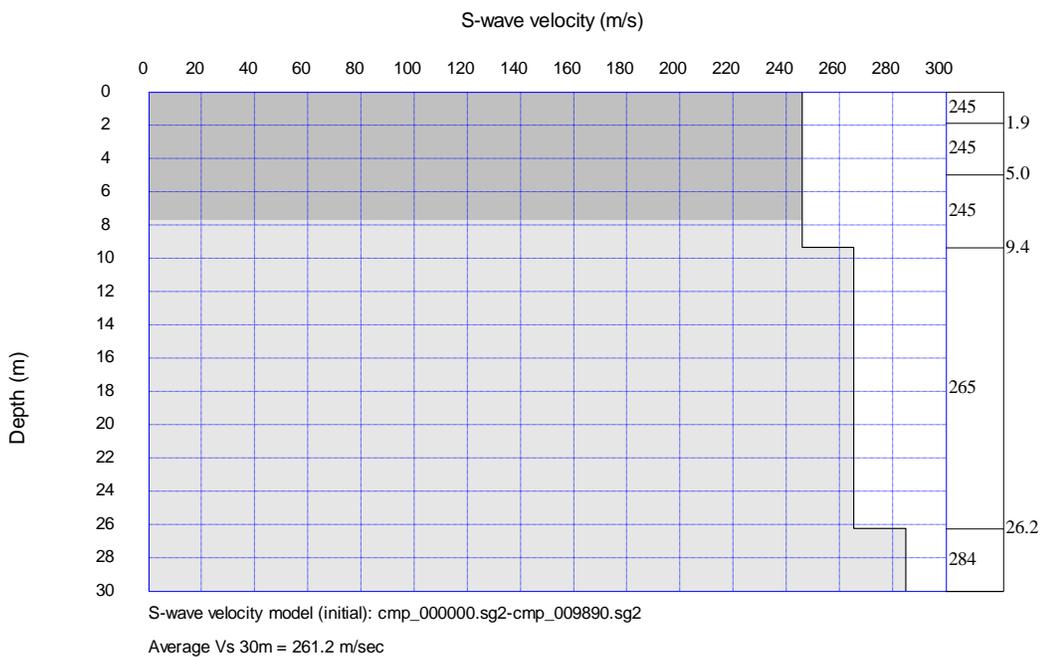
Velocidad Normal de Onda de la Línea 1



Nota. Software WaveEq.

Figura 42

Velocidad Normal de Onda de la Línea 2

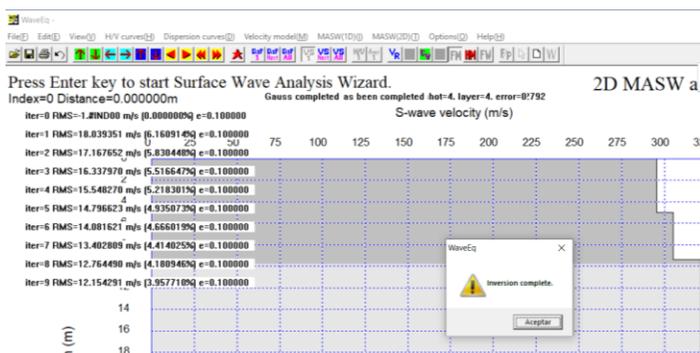


Nota. Software WaveEq.

Para poder obtener la velocidad de onda real se realizó la inversión con 10 interacciones, con el fin de obtener el resultado más cercano posible con un error que sea menor al 10% el cual se considera aceptable para este tipo de método geofísico.

Figura 43

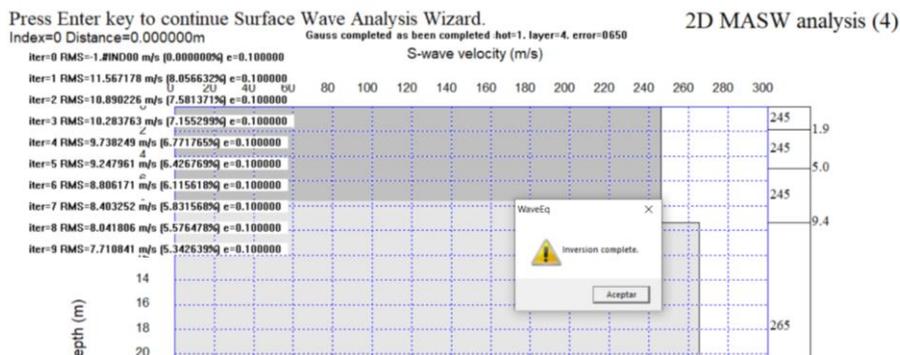
Resultado de la inversión de la línea 1



Nota. La imagen muestra el error obtenido después de realizar la inversión de la línea 1, el cual se obtuvo de 3,95% siendo este menor al 10% considerado aceptable. Obtenido del Software WaveEq.

Figura 44

Resultado de la inversión de la línea 2



Nota. La imagen muestra el error obtenido después de realizar la inversión de la línea 2, el cual se obtuvo de 1,199% siendo este menor al 10% considerado aceptable. Obtenido del Software WaveEq.

Se obtiene el Vs 30, el cual es la ponderación de los Vs de cada una de las capas, dándonos un Vs calculado del sitio los cuales se muestran en la siguiente tabla.

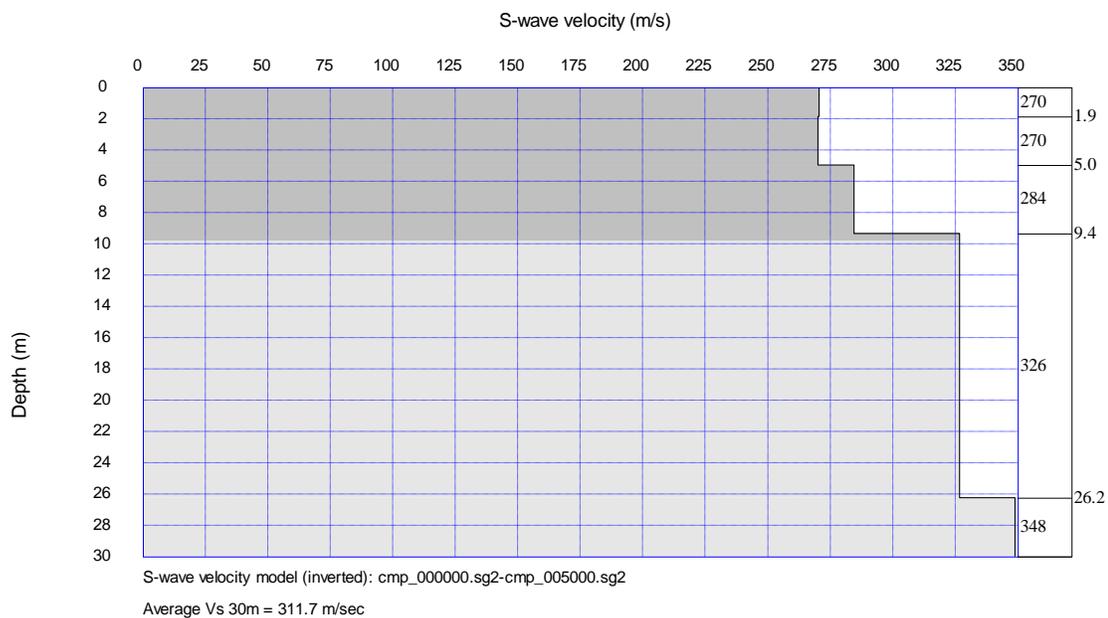
Tabla 14

Velocidad calculada Vs 30 – Método Activo

No.	Vs calculado	Unidad
Línea 1	311,7	m/sec
Línea 2	252,8	m/sec

Figura 45

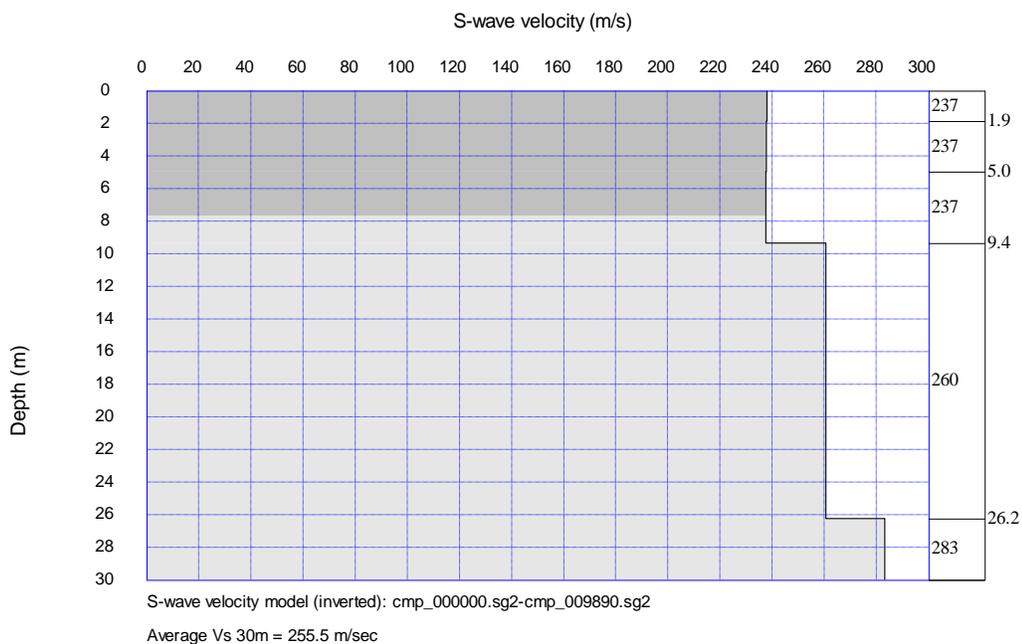
Velocidad de Onda calculada – Línea 1



Nota. Software WaveEq.

Figura 46

Velocidad de Onda calculada – Línea 2



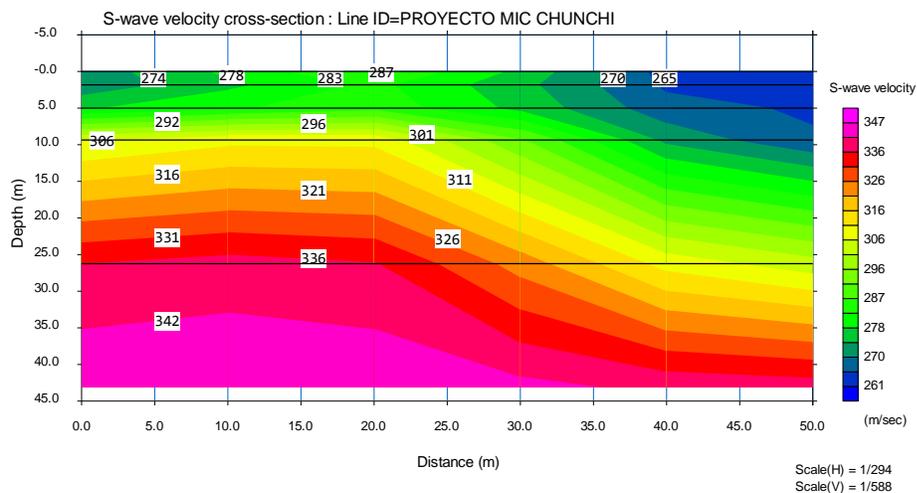
Nota. Software WaveEq.

Estas velocidades de onda calculadas Vs 30 es la ponderación de las velocidades de cada una de las capas.

Mediante el MASW (2D) (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales en 2Dimension) se obtiene un análisis en dos dimensiones, mediante el programa GeoPlot se puede obtener un perfil de las velocidades de onda de cada una de las líneas realizadas.

Figura 47

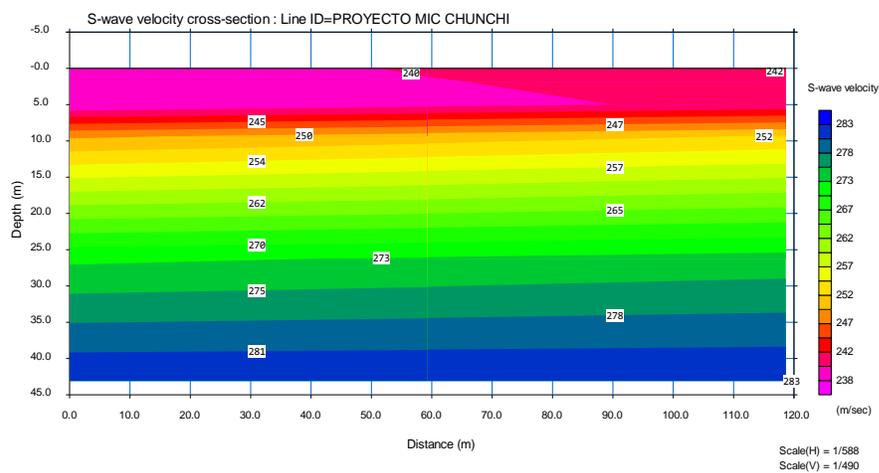
Perfil del subsuelo con sus Velocidades de Onda (S) – Línea1



Nota. La imagen muestra las velocidades de onda en las diferentes capas del subsuelo de la línea geofísica 1. Software GeoPlot.

Figura 48

Perfil del subsuelo con sus Velocidades de Onda (S) – Línea2



Nota. La imagen muestra las velocidades de onda en las diferentes capas del subsuelo de la línea geofísica 2. Software GeoPlot.

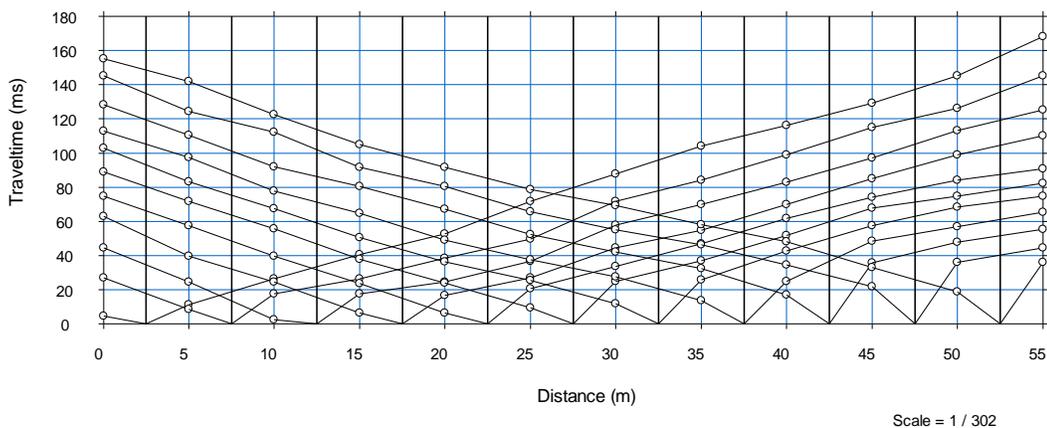
Estratigrafía.

Se procede a analizar las velocidades de ondas principales (P) con la ayuda del software Pickwin y Plotrefa, se cargan los registros previamente corregidos y se procede a identificar las primeras llegadas de la onda y se corrige la línea de tendencia. Este procedimiento se lo debe aplicar para cada uno de los registros obteniendo una domocrona (curvas tiempo distancia) del subsuelo.

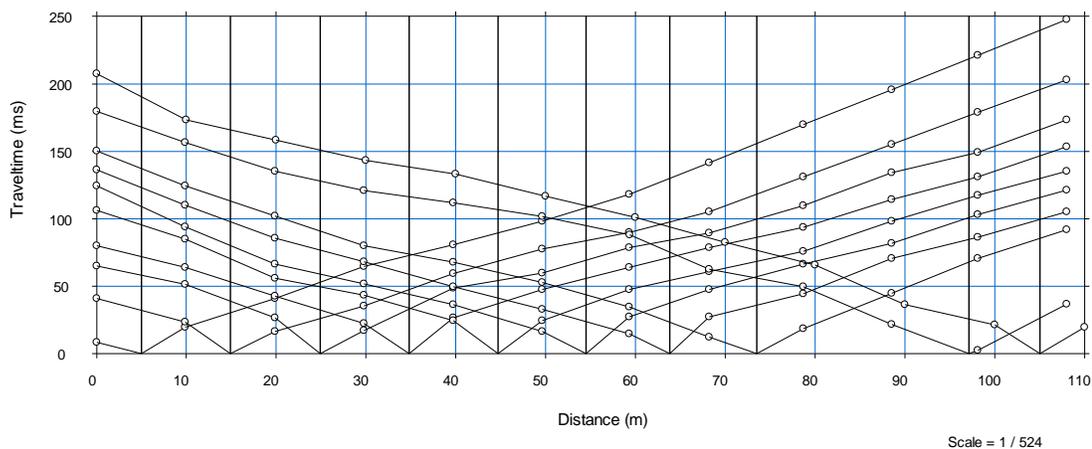
Los domocronas es el resultado de las distancias entre los puntos de energización y de recepción y los tiempos de primera recepción de las señales sísmicas.

Figura 49

Domocrona - Línea 1

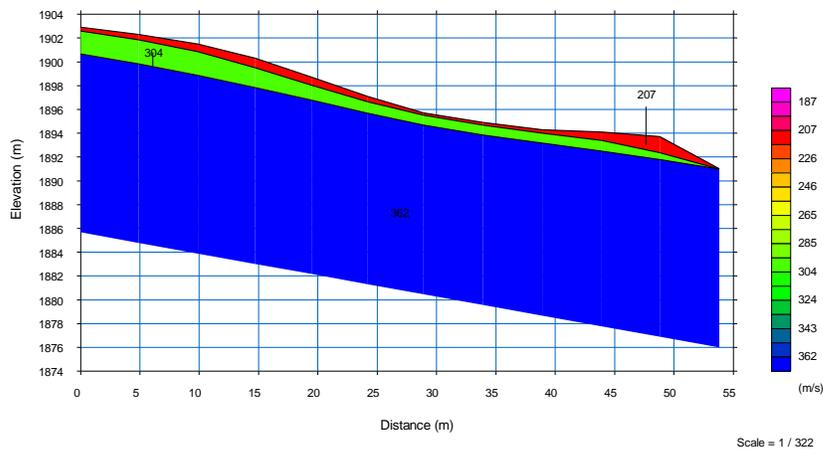


Nota. Obtenido del software Pickwin

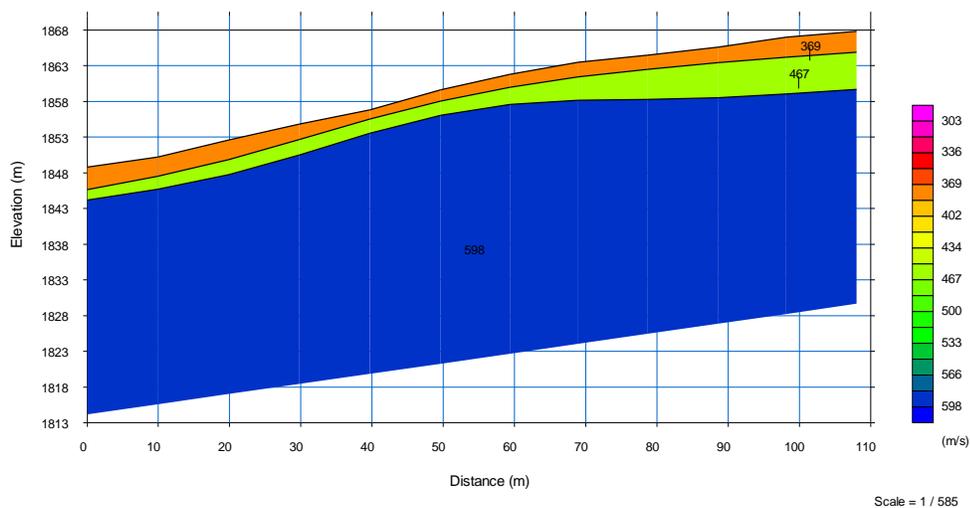
Figura 50*Domocrona - Línea 2*

Nota. Obtenido del software Pickwin

Una vez obtenidos los domocronas, utilizando un programa de cálculo específico, en este caso se usó Plotrefa, en el cual se obtiene las velocidades de cada uno de los estratos, su espesor, profundidad, forma e inclinación. Se inicia el modelo para la obtención de la tomografía de cada uno de los sitios de sondeo.

Figura 51*Tomografía de la Línea 1*

Nota. Obtenido del software Plotrefa.

Figura 52*Tomografía de la Línea 2*

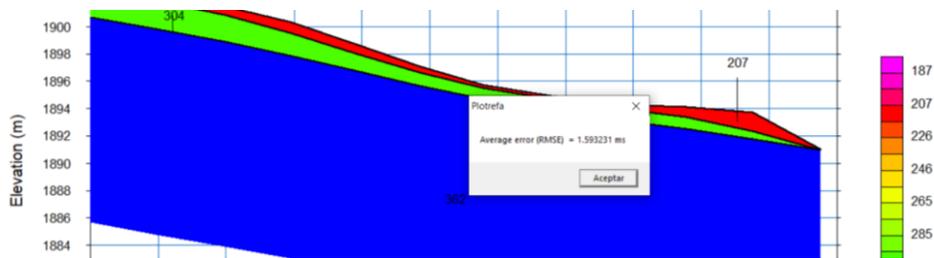
Nota. Obtenido del software Plotrefa.

Obtenidos la tomografía de cada una de las líneas de geofísica se puede observar la estratigrafía del sitio ensayado, en donde presentan distintas velocidades de ondas de compresión (v_p).

El RMSE que es el error cuadrático medio de la raíz, el cual es un valor que nos indica la distancia promedio entre los valores predichos del modelo y los valores reales en el conjunto de datos.

Figura 53

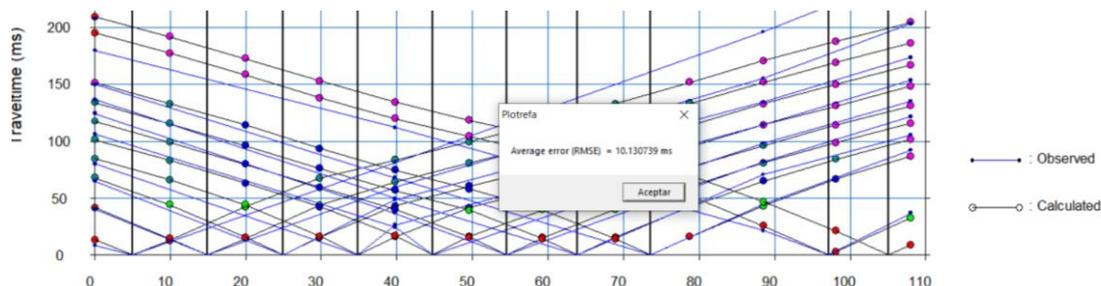
RMSE – línea 1



Nota. La imagen muestra el RMSE obteniendo un 1,59. Obtenido del software Plotrefa.

Figura 54

RMSE – línea 2



Nota. La imagen muestra el RMSE obteniendo un 10,13. Obtenido del software Plotrefa.

Geofísica de resistividad

Otro de los métodos para la investigación del subsuelo del deslizamiento, se utilizó la resistividad eléctrica, la cual se aplicó la metodología descrita en la norma ASTM G187 - 12a, Método de prueba estándar para medir la resistividad del suelo utilizando el método de caja de suelo de dos electrodos (Standard Test Method for Measurement of Soil Resistivity Using the Two-Electrode Soil Box Method).

Dispositivos, Equipos y Materiales.

Para realizar los ensayos de resistividad eléctrica se necesitan de algunos equipos con sus respectivos accesorios los cuales ayudan a medir la resistividad del subsuelo en estudio, los equipos generalmente son: una fuente de corriente, un voltímetro adecuado, amperímetro, o un galvanómetro, cuatro (4) electrodos tipo varilla y cable suficiente para realizar las conexiones (EPM, 2008).

Tabla 15

Equipos utilizados en la Resistividad Eléctrica

Equipos	Descripción	Fotografía
Fuente de Energía	<p>Se recomienda utilizar una fuente de corriente generalmente en AC la cual inyecta una onda de corriente cuadrada, con una frecuencia que no sea múltiplo de 60 Hz, dado que la corriente directa DC puede causar error por la polarización que se presenta en casi todos los electrodos metálicos.</p>	
Resistivímetro	<p>El circuito del voltímetro no debe tener una caída apreciable de la corriente para evitar efectos de polarización. La impedancia de entrada del medidor debe tener al menos de 10 MΩ</p>	

Equipos	Descripción	Fotografía
Electrodos	<p>Las varillas deben tener tratamiento térmico para que tengan suficiente rigidez, para poder ser hincadas en suelos secos o gravilla. Los electrodos deben tener un mango, palanca u otro accesorio para ser hincados y un conector terminal para conectar el cable o alambre. El electrodo varilla debe ser liso.</p>	
Cableado	<p>El calibre del cable va desde 18 a 22 AWG de cobre, conductor de cableado B normal según ASTM B8. El cable debe estar empacado en carretes para su fácil transporte y manipulación.</p>	
Herramienta de Hincado	<p>En suelos normales es recomendado un martillo de mano de 2 a 4 kg, para hincar el electrodo tipo varilla en el suelo a profundidades de 2 a 3 m.</p>	

Adquisición de Datos en Campo.

Para poder obtener los datos en campo se realizaron los siguientes pasos:

El procedimiento inicia extendiendo la cinta métrica en terreno para marcar las posiciones de los electrodos según el método o arreglo elegido, en el presente trabajo de investigación se utilizó el arreglo Schlumberguer.

Figura 55

Tendido de la cinta métrica



Seguidamente se procede a colocar los electrodos, para ello se debe fijar en el suelo a una distancia conveniente, procurando que tenga una buena conexión del electrodo al suelo. Los electrodos se emplazaron a 1,50 metros entre ellos y sea alejaron a distancias proporcionales cada vez hasta completar los 50 metros que se requería para el ensayo. Se realiza las respectivas conexiones de los electrodos y el equipo de almacenamiento de datos, en este caso al resistivímetro.

Figura 56

Colocación de electrodos



Una vez verificado las conexiones de los equipos y accesorios se inicia con la medición y obtención del valor de la resistencia o el valor de la resistividad directamente, estos datos son captados, obteniendo varios valores a lo largo de la línea de resistividad.

Figura 57

Medición y obtención de datos - resistividad



Para este ensayo de resistividad eléctrica se optó por la obtención de dos líneas geofísicas, las cuales fueron obtenidas en diferentes días, el 14 de julio y el 05 de

agosto del presente año. Los equipos utilizados guardan y almacenan los registros de campo que van a ser posteriormente procesados, analizados e interpretados.

Procesamiento de Datos.

Los datos que se obtuvieron en campo son procesados en el software EGI EarthImager 1D, el cual es un programa de modelado de inversión que se utiliza para interpretar datos de resistividad eléctrica unidimensionales y revelar un modelo en capas de la geología del subsuelo.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Elementos relevantes del deslizamiento

Escarpes

Dentro del deslizamiento se puede distinguir fácilmente la existencia de dos escarpes principales y varios escarpes secundarios, que se muestran a continuación en las siguientes figuras. Mediante la observación en campo se puede distinguir una altura aproximada de 90 metros y 80 metros de altura del escarpe principal del flanco derecho e izquierdo respectivamente.

Figura 58

Vista panorámica de los escarpes principales



Nota. La imagen muestra el deslizamiento desde una vista general en el cual se observa los escarpes principales tanto del flanco izquierdo como el derecho, imagen en la cual se puede apreciar la población de Chunchi y el cuerpo del deslizamiento.

Figura 59

Diferentes vistas del escarpe principal del flanco derecho



Nota. La imagen muestra el escarpe principal del flanco derecho, la primera imagen desde la parte alta y la segunda imagen una vista frontal.

Figura 60

Diferentes vistas del escarpe principal del flanco izquierdo



Figura 61*Escarpe Secundario*

Nota. La imagen muestra diferentes escarpes secundarios vistos desde el centro del deslizamiento.

Grietas

Dentro de la identificación de grietas que se pudieron encontrar en varios lugares del deslizamiento que fueron afectadas. Durante el desarrollo del proyecto de investigación se evidencio el aumento de las dimensiones en cada una de las grietas, además de la conformación de varias de ellas que se fueron encontrando a lo largo de las visitas a campo.

Figura 62

Grietas en las vías producidas por el deslizamiento



Nota. La imagen muestra las grietas que se produjeron por causa del deslizamiento, en el borde de una vía que se desprendió.

Figura 63

Grietas en los terrenos aledaños al deslizamiento



Figura 64

Grieta en patio de una vivienda

**Figura 65**

Fisuras cerca de la Piscina de Oxidación



Nota. La imagen muestra las grietas que existe al costado de la piscina de oxidación principal que tiene un ancho de aproximadamente de 4 cm.

Pie del deslizamiento

Em la siguiente figura se observa la primera fotografía que fue capturada el 21 de marzo del 2021 en la cual se aprecia un suelo completamente saturado y la segunda se tomó el 18 de junio del 2021 en donde se observa un panorama diferente por causa de la intervención de maquinaria pesada, así como también que la saturación fue desapareciendo paulatinamente por efectos climáticos.

Figura 66

Pie del deslizamiento



Nota. La imagen muestra el pie del deslizamiento.

Elementos hídricos

Afloramientos de agua

Dentro de la zona del deslizamiento se encontró varios ojos de agua, en los cuales se detallan siguiente tabla se muestra las coordenadas de cada uno de los afloramientos:

Tabla 16*Coordenadas de los Afloramientos de Agua*

No. de Ojos de Agua	Afloramientos de Agua		
	Este	Norte	Altitud (m)
1	729803,18	9746919,14	1888,59
2	729789,78	9746925,53	1890,40
3	729784,08	9746928,55	1889,78
4	729769,09	9746932,05	1889,40
5	729746,97	9746933,29	1885,67

Figura 67*Ubicación de los Afloramientos de Agua*

Figura 68

Afloramiento de Agua

**Corrientes de agua****Figura 69**

Corriente de agua



Nota. La imagen muestra algunas de las corrientes de agua existentes en el deslizamiento.

Elementos Antrópicos

Vías

Una de las afectaciones más importantes que tuvo la población de Chunchi debido al deslizamiento fue la ruptura y destrucción de varias vías. La vía que tuvo más afectación fue la General Morales la que daba acceso a la población de la Armenia y la vía Chunchi – Chanchan. Las siguientes figuras muestra la magnitud de la destrucción producida por el deslizamiento.

Figura 70

Vía destruida y desplazada en dirección al deslizamiento



Nota. La imagen muestra como el deslizamiento arrasó con todo lo que estuvo a su paso, se puede observar un fragmento de vía que quedó, mostrando el nivel de destrucción que tuvo tal evento.

Casas

Dicho deslizamiento tuvo un impacto destructivo en las viviendas de los pobladores, en especial del sector de la Armenia, en la que la mayoría de casas tuvieron daños considerables, algunas de ellas quedando totalmente inhabitadas y otras totalmente destruidas o enterradas debido a la magnitud del evento catastrófico. Según

el informe de la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias las viviendas destruidas fueron 30 y viviendas afectadas 38 (SNGR, 2021).

Figura 71

Viviendas afectadas por el deslizamiento



Nota. La imagen muestra el nivel de destrucción y la afectación que tuvieron varias de las viviendas que estuvieron dentro del deslizamiento.

Zanjas

Gran parte de los terrenos que contaba con zanjas que conducían el agua de riego se vio afectado a causa del deslizamiento, por lo cual han quedado a la vista muy pocas.

Figura 72

Zanja ubicada en el flanco derecho



Nota. La imagen muestra una zanja que se encuentra en el flanco derecho, muy cercana a las piscinas de oxidación.

Piscinas de Oxidación

A un costado del deslizamiento en el flanco derecho se encuentran dos piscinas de oxidación, la principal tiene una capacidad mayor a la piscina secundaria, que se utilizaban para el tratamiento de aguas residuales de toda la población de Chunchi, las cuales están siendo vaciadas mediante tanqueros.

Las aguas residuales dentro de estas lagunas eran desembocadas en un canal existente a pocos metros de la misma, las cuales posteriormente la población las utilizaba a manera de riego para los pastizales.

Figura 73

Piscinas de Oxidación



Tabla 17

Coordenadas de Piscinas de Oxidación

Coordenadas de Piscinas de Oxidación			
Nombre	Coordenadas		
	Este	Norte	Altitud (m)
Principal	730227,10	9747098,42	2005,15
Secundaria	730275,43	9747068,52	2013,84

Drenaje de Alcantarillas

En la imagen izquierda se muestra una tubería de aguas servidas que aparentemente aún sigue en funcionamiento mientras que la imagen de la derecha vemos el desfogue de una de las tuberías de aguas residuales que desembocaba al área del deslizamiento.

Figura 74

Tubería de Aguas servidas



Topografía del deslizamiento

Una vez culminado el procedimiento, análisis y verificación de todos los insumos en los respectivos programas de procesamientos, se obtiene un mapa topográfico idóneo a una escala de 1:2500 el cual se muestra a continuación en la siguiente figura, además se adjunta en el anexo C.

Informe de Calidad

Dentro de la elaboración de la topografía y procesamiento de los datos existen parámetros que se deben controlar y verificar para obtener un producto de calidad. El resumen de calidad de las variables más relevantes del procesamiento de las fotografías en PIX4D se las detalla a continuación.

Tabla 18

Resumen de control de calidad

Resumen	
Proyecto	Chunchi
Procesado	2021-06-30 19:08:56
Distancia de muestreo de suelo promedio (GSD)	9,1 cm / 3,58 pulgadas
Área cubierta	2,6236 km ² / 262,357 ha / 1,0135 millas cuadradas / 648.635 acres
Control de Calidad	
Imágenes	mediana de 44876 puntos clave por imagen
Conjunto de Datos	666 de 668 imágenes calibradas (99%), todas las imágenes habilitadas
Pareo	mediana de 12920.3 coincidencias por imagen calibrada
Georreferenciación	sí, 14GCP (14 3D), RMSerror medio = 0,021 m
Detalles de Calibración	
Número de imágenes calibradas	666 de 668
Número de imágenes geolocalizadas	666 de 668

Nota. La tabla muestra algunos de los parámetros que muestran la calidad de la topografía generada para el proyecto, para más detalles de los parámetros de calidad se adjunta en el Anexo D. Obtenido del software PIX4D.

Perfiles del suelo

Como resultado de la caracterización visual-manual del suelo y ensayos de laboratorio se puede presentar los siguientes perfiles de suelo, en sitios representativos en los cuales se muestran las diferentes características de las capas del subsuelo de la zona.

Figura 76

Perfil del Talud 1

Muestreo de reconocimiento en suelos

Sitio: Deslizamiento de Chunchi

TALUD No. 1, Prof: 15 m

Fecha: 2021-07-10

Ubicación:

UTM 17S 729572,00 E 9746433,19N

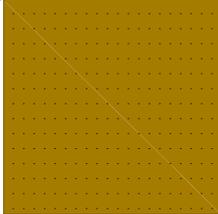
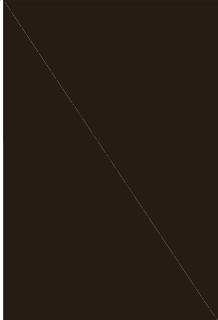
	Estratigrafía	Descripción manual visual	Clasificación de los Suelos SUCS
1m		Muestreo a 1 m Suelo orgánico con composición ceniza, coloración café oscuro.	Arcilla media plasticidad con arena CL Arcilla de baja compresibilidad color café claro, humedad baja, plasticidad baja.
2m		Muestreo a 3 m Capa color blanquecino / crema. Clastos milimétricos a centimétricos de composición andesítica, alteradas y meteorizada. Matriz arena fina - limo, las rocas presentan vesículas.	Arena Limosa SM Arena Limosa, color café claro, humedad baja, en matriz limosa de baja compresibilidad con plasticidad baja.
5m		Muestreo a 8 m Capa de color café claro, clastos milimétricos a centimétricos (mm a cm) de composición andesita / forma redondeada Matriz arena - limosa	Arena Limosa SM Arena Limosa, color café claro, humedad baja, en matriz limosa de baja compresibilidad con plasticidad baja.

Figura 77

Perfil del Talud 2

Muestreo de reconocimiento en suelos

Sitio: Deslizamiento de Chunchi

Fecha: 2021-07-10

Ubicación:

UTM 17S 729550,93 E 9746427,69N

TALUD No. 2, Prof: 20 m

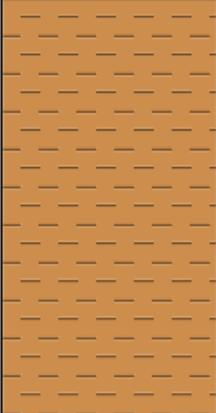
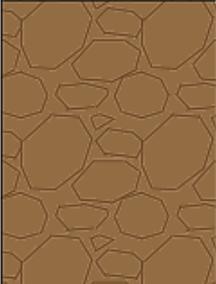
	Estratigrafía	Descripción manual visual	Clasificación de los Suelos SUC S
7m		<p>Muestreo a 7 m</p> <p>Color café claro, depósito moderadamente consolidado con dastos milimétricos de rocas de composición volcánica, matriz limo arenosa altamente saturado.</p> <p>Clastos volcánicos de tamaños milimétricos a centimétricos.</p>	<p>Arena Limosa SM</p> <p>Arena limosa, color café oscuro, humedad baja, en matriz limosa de baja compresibilidad con plasticidad baja.</p>
15m 2m		<p>Muestreo a 9 m</p> <p>Brecha volcánica con dastos angulosos de tamaño milimétricos a centímetros. Los dastos presentan mineralización clorita y alteración a caolín, la matriz es limo arenosa. La capa presenta una coloración café verdoso.</p>	<p>Arena Limosa SM</p> <p>Arena limosa, color café oscuro, humedad baja, en matriz limosa de baja compresibilidad con plasticidad baja.</p>
6m		<p>Muestreo a 15 m</p> <p>Bloque de rocas volcánicas, andecitas mineralizadas/ meteorizadas y alteradas.</p> <p>Matriz suelta, arena limosa mas o menos saturada</p>	<p>Arena Arcillosa SC</p> <p>Arena arcillosa, color café grisasea, humedad baja, en matriz arcillosa de baja compresibilidad con plasticidad media.</p>

Figura 78

Perfil del Talud 3

Muestreo de reconocimiento en suelos

Sitio: Deslizamiento de Chunchi

Fecha: 2021-07-10

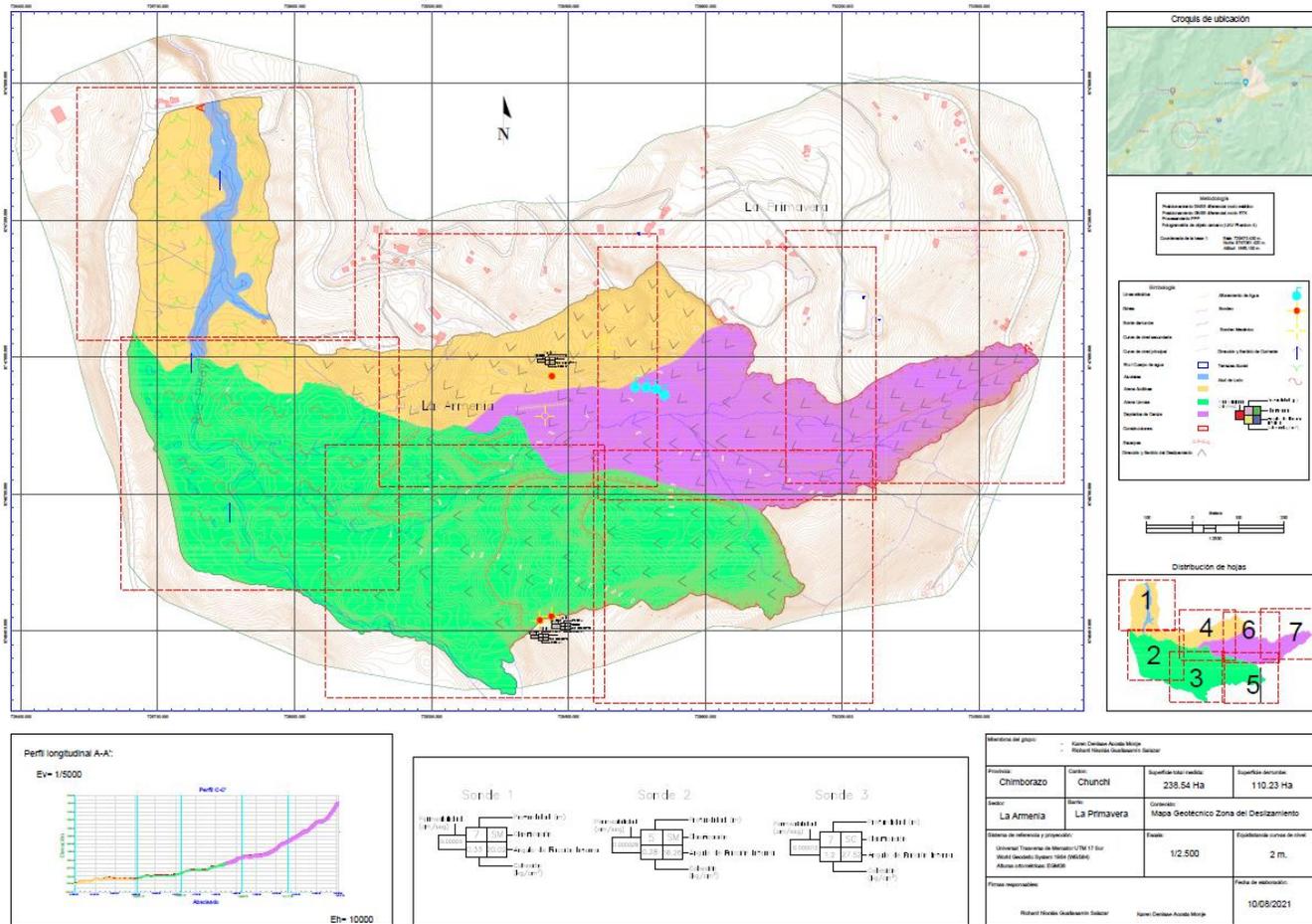
Ubicación:

UTM 17S 729533,67 E 9746964,00N

TALUD No. 3, Prof. 3 m

Estratigrafía	Descripción manual visual	Clasificación de los Suelos SUCS
 1m	Muestreo a 1 m Capa de colorización blanquecina a crema. Presenta una matriz de composición arena fina - limo. Se encuentra poco consolidada y presenta fragmentos de tamaño milimétrico a centimétricos de rocas volcánicas (Andesitas)	Arena Limosa SM Limo de baja compresibilidad, color rojizo, humedad baja, en matriz limosa de baja compresibilidad con plasticidad media.
 1m	Muestreo a 2 m Capa de color café claro. Presenta una matriz arena - arcillosa y fragmentos milimétricos y centimétricos de andesitas meteorizadas.	Arena Arcillosa SC Arena arcillosa color café amarillento, humedad baja, en matriz arcillosa de baja compresibilidad con plasticidad media.
 1m	Muestreo a 3 m Capa de colorización amarillenta a rojiza. Presenta bloques angulosos de rocas volcánicas (andesitas, dacitas) meteorizados y alterados. Los bloques se encuentran contenidos en una matriz de arena - arcilla y clastos milimétricos de rocas volcánicas.	Arena Arcillosa SC Arena arcillosa color café amarillento, humedad baja, en matriz arcillosa de baja compresibilidad con plasticidad media.

Mapa geotécnico



Geofísica de refracción

Velocidades de onda Vs30

Se denomina Vs30 al valor promedio de la velocidad de las ondas de cizalla en los primeros 30 metros de terreno. Es un parámetro importante ya que a partir de él se definen las categorías de cada suelo.

Según la NEC-15 para velocidades de onda de corte que se encuentren en el rango de 180 a 360 m/sec nos dice que los suelos tipo D en el cual son perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte (NEC - SE - DS, 2015).

Tabla 19

Clasificación del Suelo según Vs – NEC15

No.	Vs 30 (m/sec)	Tipo de Suelo (NEC-15)
Línea 1	311,7	D
Línea 2	252,8	D

Estratigrafía

La densidad de un suelo es la relación existente entre su masa y su volumen, y sus valores dan idea del grado de compacidad de un suelo, donde a mayor compacidad mayor son los valores de la velocidad de onda y de densidad.

Según la ASTM D 5777 para velocidades de onda de compresión que se encuentren en el rango de 240 a 610 m/sec nos dice que es un material de superficie

degradado lo cual corresponde al tipo de suelo de un suelo removido, en el que se evidencia la existencia de una gran cantidad de grietas en el suelo.

El resultado final de la elaboración de estos datos es un perfil bidimensional de la distribución de valores de resistividad del terreno.

Tabla 20

Clasificación del Suelo según V_p – ASTM D 5777

No.	No. Capas	V_p (m/sec)	Tipo de Suelo (ASTM D 5777)
Línea 1	1	207	Material de superficie degradado
	2	304	
	3	362	
Línea 2	1	369	Material de superficie degradado
	2	467	
	3	598	

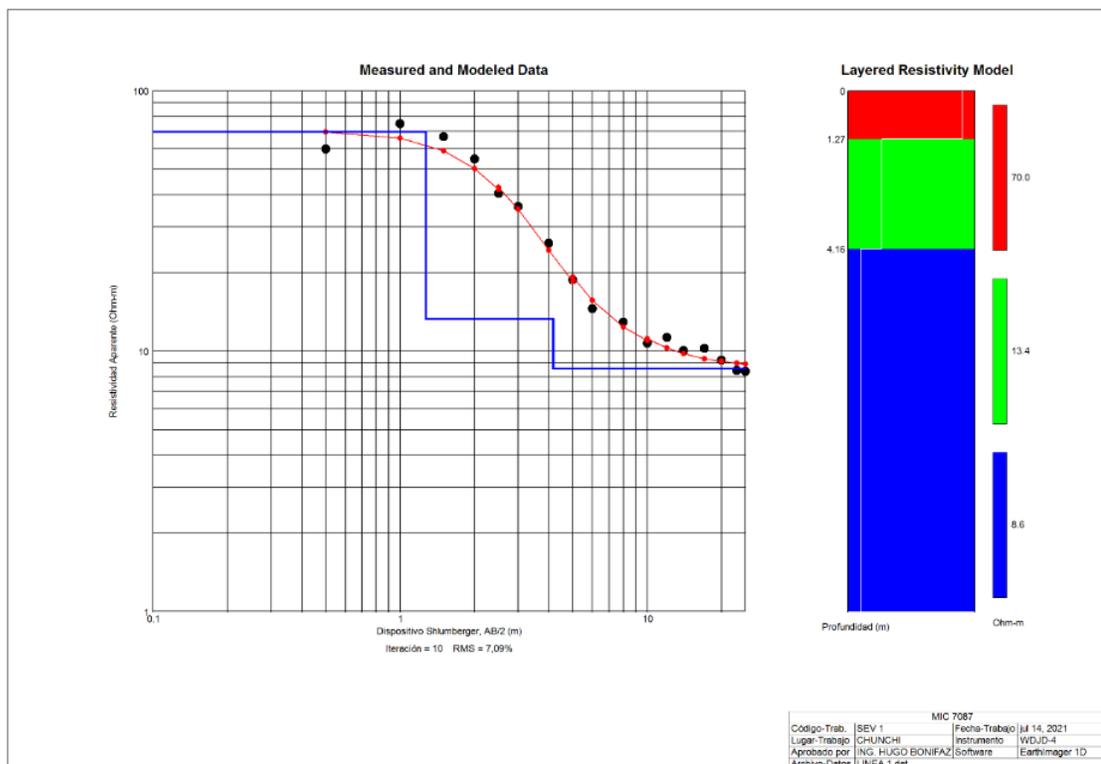
Geofísica de resistividad

Las líneas de resistividad se las realizó con una longitud de 50 metros por lo tanto la profundidad de estudio es de 25 metros, con los cuales se obtienen los siguientes resultados tanto para la línea 1 y la línea 2 respectivamente.

Interpretación de la línea 1

Figura 79

Resultado de la resistividad - Línea 1



Nota. Obtenido del software EGI EarthImager 1D,

Tabla 21

Modelo Invertido de la Resistividad, línea 1

Capa	Ohm-m	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	70.03	1.269	1.269
2	13.37	2.895	4.164
3	8.59		

Los resultados de la resistividad eléctrica muestran el suelo saturado. En la primera línea realizada el 17 de julio el suelo se encuentra saturado desde los 4,16 metros hasta la profundidad de estudio presentando una resistividad de 8,6 Ohm-m, con un RMS de 7,09%.

Interpretación de la línea 2

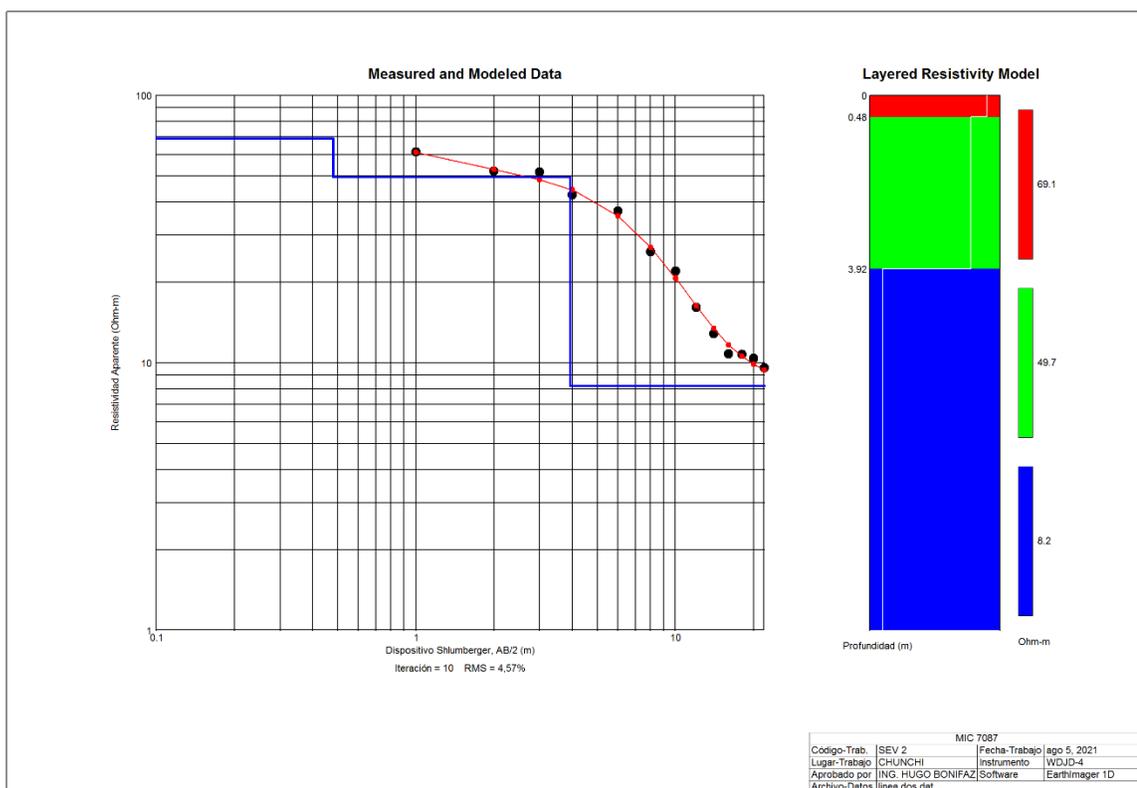


Tabla 22

Modelo Invertido de la Resistividad, Línea 2

Capa	Ohm-m	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	69.13	0.481	0.481
2	49.69	3.442	3.922
3	8.21		

Los resultados de la resistividad eléctrica muestran el suelo saturado. En la segunda línea realizada el 05 de agosto el suelo se encuentra saturado desde los 3,92 metros hasta la profundidad de estudio presentando una resistividad de 8,2 Ohm-m, con un RMS de 4,57%.

Recolección de información a testigos del deslizamiento

La recolección de información se la realizó mediante una encuesta y entrevistas con los pobladores del Cantón Chunchi. La mayor parte de personas entrevistadas no se encontraban cerca de la zona por lo que su conocimiento acerca del deslizamiento fue a través de comentarios de personas que se encontraban dentro de la zona. Estas personas manifestaron que aproximadamente unos dos meses atrás ya se podía apreciar unas grietas en sus terrenos y al pasar los días se incrementaban en su tamaño, ellos con total desconocimiento de lo que sucedía las rellenaban de tierra para poder cruzar.

La apreciación de los pobladores que presenciaron el deslizamiento es que existieron dos deslizamientos, el primero con una duración aproximada de 5 minutos ya que fue de manera rápida, pero de poca magnitud. El segundo deslizamiento que se produjo fue de mayor magnitud con una duración aproximada de media hora, dando tiempo a las personas a salir de la zona del deslizamiento.

La manera en la que los pobladores describieron al movimiento fue como un flujo de lodo, en la que las viviendas que se encontraban en la parte alta del deslizamiento bajaron de manera casi inalteradas y al llegar al pie del deslizamiento se produjo su colapso. De la misma forma la estructura vial fue gravemente afectada por

este deslizamiento, dejando pavimento cuarteado y varios tramos de viales discontinuados.

Los pobladores atribuyen este deslizamiento a la gran cantidad de agua presente en los terrenos, el cual suponen que fue uno de los causantes del deslizamiento. Adicional mencionaron los pobladores que no sintieron ningún temblor o movimiento del suelo el día del deslizamiento, así como días antes del mismo.

La mayor parte de la zona del deslizamiento se destinaba para el uso de pastizales ya que existía gran cantidad de ganado en el lugar. Además de que existía una cantidad considerable de viviendas que fueron destruidas, obligando a las personas a buscar refugios temporales (albergues, familias cercanas, etc.), así como también algunas de las personas tomaron la decisión de emigrar a otros países o ciudades.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

Conclusiones

Una vez realizado las investigaciones de campo se puede concluir lo siguiente:

- Se obtuvo una topografía de la zona de estudio a una escala de 1:2500 con curvas de nivel cada 2 metros, la cual comprende un área levantada de 238,54 ha dentro de la cual se identificó como área deslizada 110,23 ha.
- Con las visitas a campo y con la ayuda de la topografía se pudo identificar elementos relevantes al deslizamiento como grietas, cinco afloramientos identificados de agua, corrientes de agua, formación de nuevas quebradas y las partes del deslizamiento, así como elementos antrópicos: una vía destruida (Vía Chunchi-Chanchan), 30 viviendas destruidas y 38 afectadas, dos piscinas de oxidación sin funcionamiento, varias zanjas, drenaje de alcantarillas. Las cuales la mayoría de estos elementos presentan daños considerables a causa del deslizamiento.
- La información recolectada de la geológica, geotécnica y de la geofísica sirvió para caracterizar el suelo y el subsuelo del cuerpo del deslizamiento, así como representar de manera gráfica en un mapa geotécnico el movimiento del suelo.
- El mapa geotécnico se elaboró en una escala de 1:2500 en el cual contempla los tipos del suelo existente en el área del deslizamiento como son las arenas arcillosas, arenas limosas, depósitos de cenizas y aluviales. Además, contiene la dirección y sentido del deslizamiento, afloramientos de agua, ubicación de sondeos, propiedades mecánicas de los sitios de muestreo como: permeabilidad, profundidad, clasificación, ángulo de fricción interna y cohesión.

- Mediante la identificación manual – visual se elaboró perfiles del subsuelo en los tres lugares de toma de muestras, con lo cual se pudo concluir que en el flanco derecho predomina las arenas arcillosas, las cuales presentan fragmentos de andesitas meteorizadas, bloques angulosos de rocas volcánicas (andesitas, dacitas), este tipo de material presenta un color crema amarillento a rojizo; en el flanco izquierdo predomina arenas limosas, presenta depósitos moderadamente consolidados con clastos de roca de composición volcánica, andesitas mineralizadas/meteorizadas y alteradas, estos materiales presentan desde un color café claro a un café oscuro y en la cabeza del deslizamiento principal se identificó depósitos de ceniza. Estas clasificaciones se las corroboro con ensayos en laboratorio.
- En la geofísica, para la sísmica de refracción se presento dificultades con el registro de las primeras llegadas de los sismogramas debido a que el terreno presentaba muchas grietas y vacíos lo cual dificulta el paso de las ondas. Por lo tanto, el análisis para el calculo de las velocidades de onda de corte (v_s) se las realizo con el método activo; obteniendo unos V_{s30} calculados de 311,7 m/sec y 252,8 m/sec con lo cual mediante la NEC-15 lo clasifica como un suelo tipo D, perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte.
- De acuerdo a las velocidades de onda de compresión obtenidas de 362 m/sec y 598 m/sec según la ASTM D 5777 se encuentra en el rango de un material de superficie degradado lo cual corresponde a un suelo suelto y removido, en el que se evidencia la existencia de una gran cantidad de grietas en el suelo.

- Mediante la interpretación de los resultados de la resistividad eléctrica se concluye que el suelo se encuentra saturado. En la primera línea realizada el 17 de julio el suelo se encuentra saturado desde los 4,16 metros hasta la profundidad de estudio presentando una resistividad de 8,6 Ohm-m, con un RMS de 7,09%. En la segunda línea realizada el 05 de agosto el suelo se encuentra saturado desde los 3,92 metros hasta la profundidad de estudio presentando una resistividad de 8,2 Ohm-m, con un RMS de 4,57%.

Recomendaciones

- Antes de la recolección de información y de datos en campo se recomienda socializar el proyecto de investigación a los pobladores del sector para evitar incidentes con los propietarios de los terrenos. Contar con la presencia de al menos un representante de la comunidad al momento de realizar los trabajos en campo, que ayuden a salvaguardar la integridad de cada uno de los participantes del proyecto.
- En cuanto al levantamiento de la topografía en campo se recomienda colocar puntos de control adicionales ya que al ser una extensión muy amplia no se tiene un control de todos los puntos por lo que se puede perder información debido a agentes secundarios como el efecto del viento o clima.
- Para los sondeos se recomienda elegir un sitio apropiado, en este caso como es un deslizamiento se debe tomar cerca de los flancos ya que son zonas no tan afectadas a diferencia del centro o cuerpo que el suelo estaba totalmente suelto y removido.

- Para futuros trabajos de investigación se recomienda realizar líneas de geofísica en la parte superior del deslizamiento, cerca de la corona del deslizamiento en especial el flanco derecho donde existe una gran cantidad de grietas.
- Realizar un modelo de flujo del acuífero de toda el área de recarga que incluya al cantón Chunchi.
- En el tiempo que duro esta investigación se evidenció el aumento de las dimensiones y aparición de grietas, una muestra clara que el suelo se sigue deslizando por lo que se recomienda a las autoridades competentes tomar las medidas pertinentes y preventivas con el fin de salvaguardar a la población de Chunchi, ya que mucha gente por falta de información está construyendo nuevamente en la zona y regresando paulatinamente a las actividades que se desarrollaban antes del deslizamiento quedando expuestos.

REFERENCIAS

- SGM. (2015). *Servicio Geológico Mexicano*. ¿Qué es la Geotecnia? Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157802/Que-es-la-Geotecnia.pdf>
- Abreu L., W. (2011). *Apuntes de topografía para ingenieros*. Barcelona, España.
- Aerial Insights. (1 de Abril de 2019). *Aerial Insights*. Obtenido de Topografía con drones: qué es y cómo realizarla: <https://www.aerial-insights.co/blog/topografia-con-drones/>
- ASTM D 5777-18. (2018). *Sociedad Americana para pruebas y materiales*. Guía estandar para: Utilizando el método de refracción sísmica para la investigación del subsuelo.
- ASTM G187-12a. (2018). *Sociedad Americana para pruebas y materiales*. Standard Test Method for Measurement of Soil Resistivity Using the Two-Electrode Soil Box Method.
- Blog de Ingeniero Civil. (11 de Enero de 2011). *Ingeniería Civil* . Obtenido de <http://ingenieriaciviltips.blogspot.com/2011/05/sondeo-por-resistividad-suelos.html>
- Campos Rodriguez, H. (16 de Octubre de 2019). *Servicios Topograficos CR*. Obtenido de Drones en la Topografía: <https://hcrtopo.wixsite.com/stcr/post/drones-en-la-topograf%C3%ADa>
- Cantos Figueroa, J. (1973). *Tratado de Geofísica Aplicada* (Segunda ed.). Madrid, España.

Cavada, J. M. (2000). *GUIA DE PROSPECCION SISMICA POR REFRACCION*.

Universidad Central de Venezuela/Facultad de Ingeniería - Escuela de Geología,
Minas y Geofísica , Departamento de Ingeniería Geofísica .

CEDEX. (2010). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. *TÉCNICAS*

GEOFÍSICAS. España. Obtenido de

[http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/C63444EB-3A5F-4346-9CE0-
AF209AB125F1/132409/ENSAYOSGEOFISICOS.pdf](http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/C63444EB-3A5F-4346-9CE0-AF209AB125F1/132409/ENSAYOSGEOFISICOS.pdf)

Cerebralia. (s.f.). *Cerebralia*. Obtenido de Los Deslizamientos:

<https://cerebralia.com/peligros/deslizamientos>

Das, B. M. (2014). *FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA* (Cuarta ed.).

Cengage Learning.

EPM. (2008). *Empresas Públicas de Medellín*. Norma técnica, Área Ingeniería

Distribución , Medellín. Obtenido de

[https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-
contratistas/normas-tecnicas/documentos/DOCUMENTOS-ENERGIA/NORMAS-
TECNICAS-PARA-REDES-AEREAS/NORMAS-DE-MONTAJES-
COMPLEMENTARIOS/RA6-014.pdf](https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/DOCUMENTOS-ENERGIA/NORMAS-TECNICAS-PARA-REDES-AEREAS/NORMAS-DE-MONTAJES-COMPLEMENTARIOS/RA6-014.pdf)

Ferreira, M. R., & Aira, V. G. (2017). *APLICACIONES TOPOGRÁFICAS DE LOS*

DRONES. 8(11). Obtenido de

[http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASHac69
.dir/doc.pdf](http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASHac69.dir/doc.pdf)

- Ferreño Gonzalez, R. (15 de Septiembre de 2016). *certicalia*. Obtenido de Cómo se hace un levantamiento topográfico: <https://www.certicalia.com/blog/como-se-hace-un-levantamiento-topografico>
- Gasulla Forner, M. (Febrero de 1999). *Obtención de imágenes de la distribución de impedancia eléctrica del subsuelo. Aplicación a la detección de objetos locales*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Electrònica. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/6316>
- Gayá Florez, M. A. (2004). *Procesado de Sísmica de Reflexión Superficial en el Complejo Turbidítico de Ainsa (Huesca)*. Barcelona. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/3404>
- Geofisica.cl. (2006). *Introducción a la Prospección Geofísica*. Obtenido de http://www.geofisica.cl/English/pics6/Introduccion_a_la_Geofisica.pdf
- Global Mediterránea Geomática. (19 de Junio de 2018). *Global - Mediterránea&Geomática*. Obtenido de Drones y topografía la combinación perfecta: <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Chunchi. (19 de Noviembre de 2015). *GAD Chunchi*. Obtenido de <http://www.municipiochunchi.gob.ec/index.php/2014-06-11-16-58-24/historia>
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación .
- Google Earth. (2020). Chunchi. Chunchi, Ecuador: Google.

- IIGE. (2 de Febrero de 2021). *IIGE realiza estudios de movimientos en masa en el cantón Chunchi*. Obtenido de Instituto de Investigación Geológico y Energético: <https://www.geoenergia.gob.ec/iige-realiza-estudios-de-movimientos-en-masa-en-el-canton-chunchi/>
- INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y Vivienda en el Ecuador*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos , Chunchi. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_aplicativos/datos_generales_cpv/06chunchi.pdf
- Lopez Avalos, J., Mejia Carrillos, J., & Vega, N. (2008). Aplicación del Metodo de Reflacción Sismica para la determinación de velocidades de Ondas P. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4379/1/Aplicaci%C3%B3n%20del%20m%C3%A9todo%20de%20refracci%C3%B3n%20sismica%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20velocidades%20de%20ondas%20%20P.pdf>
- Maldonado, Y. (27 de Junio de 2020). *GEOLOGIAWEB*. Obtenido de Resistividad eléctrica: <https://geologiaweb.com/geofisica/resistividad-electrica/>
- NEC - SE - DS. (2015). *Peligro Sismico Diseño Sismo Resistente*. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NTE INEN 686. (1982). *Mecánica de Suelos. Toma de Muestras Alteradas*. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito.
- NTE INEN 687. (1982). *Mecánica de Suelos. Toma de Muestras Inalteradas*. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito.

Owen, O. S. (2008). Conservación de Recursos Naturales. México.

Ramírez Cárdenas, L. D. (2021). *GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN (MASW)*.

Universidad de Antioquia , Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental, Medellín .

Rodriguez, M. A. (2001). *Geofísica aplicada a la obra civil: Método geoelectrico y sísmica de refracción*.

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2021). *Informe de Situación - Deslizamiento Chunchi*. Informe de Situación, Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/Informe-de-Situacion-No-3-Chunchi-14022021-2.pdf>

SIAPA. (2014). SISTEMA INTERMUNICIPAL DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. *ACTUALIZACIÓN DE LOS CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES EN LA Z.M.G.*

Guadalajara, Jalisco, México.

Sistema Nacional de Información. (2013). *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25 000*. MEMORIA TECNICA - CANTÓN CHUNCHI, Instituto Geográfico Militar.

Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA3/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/CHIMBORAZO/CHUNCI/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_chunchi_socioeconomico.pdf)

[link/sni/PDOT/ZONA3/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/CHIMBORAZO/CHUNCI/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_chunchi_socioeconomico.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA3/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/CHIMBORAZO/CHUNCI/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_chunchi_socioeconomico.pdf)

SNGR. (2021). *Informe de Situación – Deslizamiento Chunchi*. Chunchi.

SNGRE. (2021). *Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos*.

Informe técnico del movimiento en masa en el sector La Armenia del Cantón Chunchi, Provincia Chimborazo, Dirección de Análisis de Riesgo.

Suárez Díaz, J. (2009). *Deslizamientos Analisis Geotecnico* (Vol. I).

TEC OCEANO. (26 de Julio de 2015). *TEC OCEANO*. Obtenido de Levantamientos

Topográficos usando RTK: <https://blog.tecnoceano.com/levantamientos-topograficos-usando-rtk/>

Valverde, O., Haro, R., & Yáñez, D. (2011). Importancia de la calicata en el estudio del suelo. *TELEDETECCIÓN*. Obtenido de

https://www.academia.edu/29282208/Importancia_de_la_calicata_en_el_estudio_de_suelos_Antecedentes

VIU. (21 de Marzo de 2018). *Universidad Internacional de Valencia*. Obtenido de ¿Qué es un dron y cómo funciona?:

<https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/que-es-un-dron-y-como-funciona>

ANEXOS

Código	Contenido
Anexo A	Formato de encuesta: Recolección de información de los testigos del movimiento sobre los eventos que ocurrieron.
Anexo B	Resultados de la encuesta
Anexo C	Topografía del Deslizamiento.
Anexo D	Informe de Calidad - Topografía
Anexo E	Mapa Geotécnico
Anexo F	Registros Geofísica – Sísmica de Refracción
Anexo G	Registros Geofísica – Sísmica de Resistividad